

Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan *Optimally Pruned Extreme Learning Machine* (OPELM) pada Sistem Kelistrikan Jawa Timur

Januar Adi Perdana
2208100150

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
Dosen Pembimbing II : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT

Abstrak:

Peramalan beban listrik jangka pendek merupakan faktor yang sangat penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik. Tujuan dari peramalan beban listrik adalah agar permintaan listrik dan penyediaan listrik dapat seimbang. Karakteristik beban di wilayah Jawa Timur sangat fluktuatif sehingga pada penelitian ini digunakan metode *Optimally pruned extreme learning machine* (OPELM) untuk meramalkan beban listrik. Kelebihan OPELM ada pada *learning speed* yang cepat dan pemilihan model yang tepat meskipun datanya mempunyai pola non linier. Keakuratan metode OPELM dapat diketahui dengan menggunakan metode perbandingan yaitu metode ELM. Kriteria keakuratan yang digunakan adalah MAPE. Hasil dari perbandingan kriteria keakuratan menunjukkan bahwa hasil peramalan OPELM lebih baik dari ELM. Error rata-rata hasil pengujian peramalan paling minimum menunjukkan MAPE sebesar 1,5534% terjadi pada peramalan hari Jumat, sementara pada hari yang sama dengan metode ELM menghasilkan MAPE sebesar 2,6832%.

Kata kunci: Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek, OPELM, ELM



Short-Term Load Forecasting Using Optimally Pruned Extreme Learning Machine (OPELM) in Power System at East Java

Januar Adi Perdana
2208100150

Advisor I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Advisor II : Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., MT.

Abstract :

Short-term electric load forecasting is a very important factor for planning and operation of electric power systems. The purpose of the electrical load forecasting is that electricity demand and supply can be balanced. Load characteristics in East Java is very fluctuative, so in this research used methods of optimally pruned extreme learning machine (OPELM) to forecast electricity load. Advantadges OPELM on a fast learning speed and the selection of an appropriate model although the data have non-linear pattern. OPELM accuracy can be determined by using the comparison ELM method. Accuracy criteria used MAPE. The results of the comparison criteria indicate that the forecasting accuracy of OPELM is better than ELM. Result of testing on forecast gives the smallest average error percentage by MAPE of 1,5534% for forecasting Friday, while on the same day forecasting, ELM give MAPE of 2,6832%.

Key words : Short-term electric load forecasting, OPELM, ELM.



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Beban Listrik Hari Senin.....	65
Lampiran 2	Data Beban Listrik Hari Selasa.....	66
Lampiran 3	Data Beban Listrik Hari Rabu	67
Lampiran 4	Data Beban Listrik Hari Kamis	69
Lampiran 5	Data Beban Listrik Hari Jumat	70
Lampiran 6	Data Beban Listrik Hari Sabtu.....	71
Lampiran 7	Data Beban Listrik Hari Minggu	73
Lampiran 8	Listing Program Peramalan dengan OPELM	74



BAB 2

PERAMALAN BEBAN LISTRIK DAN *OPTIMALLY PRUNED EXTREME LEARNING MACHINE*

2.1 Penelitian Yang Telah Dilakukan

Teknik-teknik peramalan beban listrik untuk mengurangi ketidakpastian dan sifat ketidaklinieran sistem dalam peramalan beban tenaga listrik, cenderung banyak menggunakan jaringan syaraf tiruan dan teori *fuzzy*. Di dalam aplikasi suatu bidang studi pada *neural network*, tenaga ahli yang berpengalaman mengalami kesulitan dalam memproses data kualitatif sehingga kemudian sebuah organisasi mandiri milik Kohonen memetakan bersama-sama *Multi Layer Neural Network* yang digunakan untuk mengakuratkan akurasi ramalan beban tenaga listrik[6]. Untuk meramalkan permintaan daya pada 24 jam berikut, model ramalan *neuro fuzzy* secara berturut-turut dihubungkan dengan modul *neural network* yang diprogramkan, mempertimbangkan suhu, variasi musim, hari kerja, dan lain-lain[7]. Rata-rata *error* prediksi menggunakan metode ANN menjelaskan tingkat ketelitian ramalan permintaan listrik berkisar 1% dan maksimum *error* berkisar 8%[8]. Penelitian peramalan kurva beban harian kondisi normal menggunakan ANN yang dilakukan di Karangploso menghasilkan *error* sebesar 0,386% dan 0,276% di Wastra Indah, kemudian dengan kondisi pemadaman diperoleh *error* sebesar 0,7168% yang digunakan untuk menghitung besar kWh tak terjual[9].

Pada tahun 1999, Institut Riset Tenaga Listrik Negara Korea (KEPRI) telah mengembangkan Load Forecasting Engineering System menggunakan suatu model analisis *top-downward developed method*, untuk meramalkan 8760 jam setiap tahunnya. Di dalam sistem peramalan beban, rata-rata *error* yang diramalkan tahun 1997 sebesar 2,45% untuk hari kerja kecuali hari Senin (Selasa hingga Jumat), 4,02% untuk akhir pekan dan 7,66% selama liburan[10]. Metode peramalan beban yang dilakukan KEPRI menggunakan suatu analisis deret waktu dan analisis regresi. Para peneliti sangat aktif mempelajari model prediksi yang diterapkan pada metode kecerdasan buatan seperti metode *neural network* dan konsep *fuzzy*. Suatu metode *neural network* menghasilkan model prediksi yang dibangun dengan mudah, dan juga

kemungkinan prediksi menjadi lebih baik dibandingkan metode statistik, dengan demikian mengijinkan para peneliti mengusulkan berbagai model seperti itu[11]. Para peneliti juga telah berkonsentrasi pada peramalan beban jangka pendek dengan *Artificial Neural Network* (ANN) yang memiliki dua keuntungan yaitu : pertama, mempunyai kemampuan dalam memperkirakan setiap fungsi non linear dan yang kedua, merupakan model penentuan (determination model) melalui proses *learning*. Para ahli juga mengembangkan metode *support vector machine* (SVM) untuk diterapkan pada peramalan beban jangka pendek dalam rangka menghasilkan nilai global optimum.

Pada penelitian Tugas Akhir ini digunakan metode *Optimally Pruned Extreme Learning Machine* (OPELM) untuk melakukan peramalan beban listrik jangka pendek pada wilayah Jawa Timur. OPELM didasarkan pada metode ELM *original*, yang dibuat untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dari jaringan syaraf tiruan *feedforward* terutama dalam hal *learning speed*[12]. Huang mengemukakan dua alasan mengapa JST *feedforward* mempunyai *learning speed* rendah, yaitu :

1. Menggunakan *slow gradient based learning algorithm* untuk melakukan training.
2. Semua parameter pada jaringan ditentukan secara iterative dengan menggunakan metode pembelajaran tersebut.

Parameter yang dimaksud adalah *input weight* dan *hidden bias*. Parameter-parameter tersebut juga saling berhubungan antara layer yang satu dengan yang lain, sehingga membutuhkan *learning speed* yang lama dan sering terjebak pada *local minima*[13].

2.2 Karakteristik Beban Listrik

Kegiatan konsumen listrik dapat dikelompokkan menjadi konsumen rumah tangga, komersil, publik maupun industri. Tiap konsumen mempunyai karakteristik pola permintaan beban yang berbeda. Konsumen rumah tangga mempunyai pola dengan fluktuasi yang cukup besar disebabkan perilaku rumah tangga yang berbeda di waktu-waktu tertentu. Konsumen industri memiliki pola beban yang hampir konstan sehingga perbandingan antara beban rata-rata terhadap beban puncaknya juga hampir sama. Sedangkan konsumen komersil akan mempunyai pola beban puncak yang tergantung dari pola kegiatan komersil yang dijalankan. Beban publik untuk menunjang kebutuhan beban di tempat-tempat umum. Pengklasifikasian pola beban seperti di

atas sangat penting ketika kita akan melakukan analisis pola dan karakteristik beban untuk suatu sistem yang besar. Informasi yang dapat diperoleh dari beberapa jenis beban tersebut adalah mengenai besar daya yang digunakan dan waktu pembebanannya.

Dalam karakteristik beban listrik dikenal istilah-istilah berikut dan juga sebagai dasar pertimbangan untuk penilaian beban.

1. Kebutuhan (*demand*), diartikan sebagai besar beban rata-rata pada interval waktu tertentu. Interval waktu tersebut menunjukkan besarnya beban yang ingin ditentukan, yang disebut *demand interval*.
2. Kebutuhan maksimum (*maximum demand*), merupakan beban rata-rata terbesar pada waktu tertentu dari suatu interval waktu tertentu pula, misalnya per 30 menit atau 60 menit.
3. Beban puncak (*peak load*), diartikan sebagai beban tertinggi yang terjadi selama periode tertentu, misalnya harian, mingguan, bulanan maupun tahunan.
4. Beban terpasang, merupakan jumlah total daya dari seluruh beban yang akan dilayani oleh suatu sistem.
5. Faktor beban (*load factor*), adalah perbandingan antara beban rata-rata pada periode tertentu terhadap beban puncak yang diukur dalam periode tersebut.
6. Faktor kebutuhan (*demand factor*), adalah perbandingan antara beban puncak suatu sistem terhadap beban terpasang yang dilayani oleh sistem.

Kurva beban (*load curve*), menggambarkan hubungan antara beban dan waktu yang direpresentasikan dalam suatu kurva, baik itu harian, mingguan, bulanan, maupun tahunan.

2.3 Peramalan

2.3.1 Definisi Peramalan

Peramalan adalah suatu cara yang digunakan untuk mengukur atau memperkirakan kejadian di masa yang akan datang. Peramalan dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Peramalan secara kualitatif adalah peramalan yang berdasarkan pendapat dari yang melakukan peramalan, sedangkan peramalan kuantitatif adalah peramalan yang menggunakan data-data tertentu. Berkaitan dengan hal tersebut, maka dalam hal peramalan dikenal istilah peramalan dan perkiraan. Perkiraan didefinisikan sebagai proses peramalan suatu variabel atau kejadian masa yang akan datang dengan berdasarkan data

atau variabel yang telah terjadi sebelumnya. Data masa lampau (data historis) tersebut secara sistematis digabungkan dengan menggunakan suatu metode tertentu dan diolah untuk mendapatkan perkiraan di masa yang akan datang. Peramalan didefinisikan sebagai suatu proses peramalan variabel atau kejadian di masa yang akan datang dengan lebih didasarkan pada pertimbangan subyektif atau pendapat dari data kejadian yang telah terjadi di masa lalu. Dalam proses peramalan ini, peramalan yang sangat baik tergantung dari pengalaman dan kepekaan peramal[6].

2.3.2 Peramalan Beban Listrik

Peramalan di bidang tenaga listrik dimaksudkan pada perkiraan kebutuhan beban listrik di masa yang akan datang. Suatu model peramalan beban yang akurat sangat penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik. Peramalan beban sangat membantu perusahaan listrik dalam mengambil keputusan untuk menyuplai tenaga listrik termasuk keputusan dalam mengatur pembangkitan, pemutusan beban (*load switching*), dan juga pembangunan infrastruktur kelistrikan[14] sehingga diharapkan dengan peramalan yang tepat dapat menjaga kestabilan sistem tenaga listrik dengan ketepatan pengalokasian pembangkit yang beroperasi. Peramalan beban dilihat dari berapa rentang waktu data beban yang digunakan untuk peramalan. Peramalan beban dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu :

- 1) Peramalan beban jangka pendek (*short-term load forecasting*), meramalkan beban dalam jangka waktu per jam hingga per minggu.
- 2) Peramalan beban jangka menengah (*medium-term load forecasting*), meramalkan beban dalam jangka waktu per bulan hingga per tahun.
- 3) Peramalan beban jangka panjang (*long-term load forecasting*), meramalkan beban dalam jangka waktu lebih dari per tahun

Peramalan beban untuk periode waktu tertentu sangat penting untuk mengetahui pola karakteristik beban. Pola beban dikenali melalui proses pelatihan (*learning*) untuk memperoleh pemodelan yang optimal. Model tersebut kemudian melalui proses pengujian (*testing*) untuk memperoleh hasil peramalan beban listrik di masa depan. Perlu dipertimbangkan data-data yang akan digunakan dengan memperhatikan periode dari data tersebut apakah tergolong peramalan beban jangka pendek, menengah atau panjang.

Dalam hal ini pengambilan data harus benar-benar diperhatikan mengingat jika data yang diambil memiliki jangka waktu yang berbeda jauh akan banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti pertumbuhan penduduk, faktor cuaca, faktor ekonomi, dan faktor-faktor lainnya. Lonjakan permintaan energi listrik akan terjadi apabila faktor-faktor tersebut meningkat, terutama pertumbuhan ekonomi dan daya beli masyarakat. Maka dari itu, sebelum dilakukan peramalan beban hendaknya data yang diolah diperhatikan pola bebannya. Dengan mengenali pola beban maka dapat diramalkan permintaan beban listrik di masa yang akan datang.

2.3.3 Peramalan Beban Listrik Dengan *Similar Day*

Meramalkan beban listrik untuk periode waktu tertentu sangat penting dalam mengoperasikan pembangkit listrik yang berbeda-beda. Peramalan beban listrik jangka pendek berbeda dengan peramalan beban jangka panjang, karena pada peramalan beban jangka pendek tidak memerlukan data cuaca, temperatur, dan tingkat perekonomian yang akan mempengaruhi akurasi ketelitian dari peramalan itu sendiri. Pola kegiatan konsumen pada hari kerja, yaitu hari senin sampai hari jumat dan hari akhir pekan pada setiap minggunya tidak akan banyak berubah. Pola ini akan terus berulang setiap minggunya dan pengulangannya juga akan terjadi pada pola kurva beban dari minggu ke minggu di hari yang mirip (*similar*). Misalnya pola kurva beban pada hari Senin minggu ini akan memiliki pola yang mirip dengan pola kurva beban pada hari Senin minggu yang akan datang. Hal yang sama juga terjadi pada hari-hari yang lain. Untuk pertimbangan kemudahan dalam perhitungan dan keakuratan hasil peramalan beban, dilakukan klasifikasi pola beban harian sebagai berikut :

Pola beban harian dikelompokkan menjadi :

1. Pola-pola hari biasa yaitu hari Senin sampai Minggu yang bukan hari libur nasional, diklasifikasikan sebagai berikut.
 - a. Pola beban hari Senin
 - b. Pola beban hari Selasa
 - c. Pola beban hari Rabu
 - d. Pola beban hari Kamis
 - e. Pola beban hari Jumat
 - f. Pola beban hari Sabtu
 - g. Pola beban hari Minggu

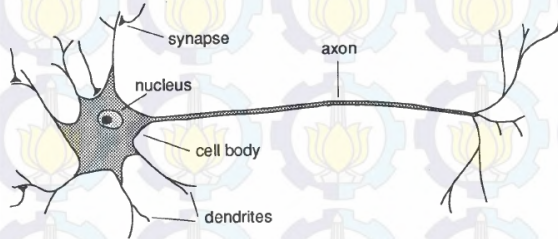
2. Pola hari-hari tidak biasa yaitu hari-hari Senin sampai Minggu yang merupakan hari libur nasional (hari khusus), diklasifikasikan sebagai berikut.
- a. Pola beban Tahun Baru
 - b. Pola beban Tahun Baru Cina
 - c. Pola beban Maulud Nabi Muhammad S.A.W
 - d. Pola beban Nyepi
 - e. Pola beban Wafat Isa Al Masih
 - f. Pola beban Paskah
 - g. Pola beban Waisak
 - h. Pola beban Kenaikan Isa Al Masih
 - i. Pola beban Isra Mi'raj Nabi Muhammad S.A.W
 - j. Pola beban Hari Kemerdekaan RI
 - k. Pola beban Idul Fitri
 - l. Pola beban Idhul Adha
 - m. Pola beban Natal

2.4 Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Networks (ANN) yang sering disebut dengan Jaring Syaraf Tiruan memiliki disiplin ilmu yang dianalogikan sebagai fungsi penyederhanaan struktur model otak manusia yang terbangun atas ribuan jaring syaraf. Hal tersebut dapat dilihat dari bagaimana kinerja struktur jaringan syaraf saling terhubung untuk menyampaikan sinyal informasi dari satu titik ke titik yang lain. Titik-titik itulah yang sering disebut sebagai neuron. Neuron merupakan unit pengolah sinyal informasi terkecil pada kinerja otak. Struktur jaringan otak manusia tersusun lebih dari 10^{13} buah neuron, dengan 10^{15} buah dendrit yang menghubungkannya[15]. Dengan jumlah yang begitu banyak, otak mampu menerima beberapa sinyal masukan, mengenali suatu pola dengan kapasitas memori yang besar, melakukan perhitungan dan dengan kecepatan yang sangat tinggi dapat memberikan respon ke organ-organ tubuh.

Neuron terdiri atas komponen penting seperti dendrit, soma dan akson. Dendrit menyambungkan antara neuron satu dengan neuron lainnya, dimana dendrit menerima sinyal masukan dari neuron lain. Kemudian sinyal masuk ke soma untuk menjumlahkan sinyal-sinyal yang masuk dan kemudian mengaktifkannya. Penjumlahan tersebut memiliki batas ambang (*threshold*) dimana akan dikendalikan oleh sinapsis yang sebagai penguat atau pelemah sinyal. Jika penjumlahan

sinyal telah cukup kuat maka sinyal diteruskan ke neuron lain melalui akson. Struktur sederhana sebuah neuron dapat direpresentasikan pada Gambar 2.1.



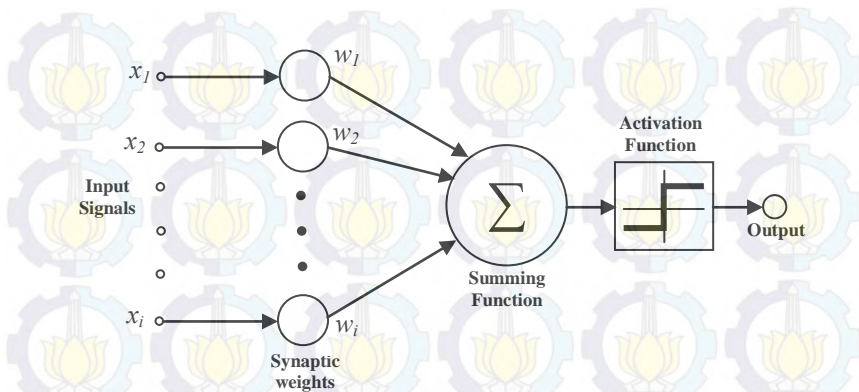
Gambar 2.1 Struktur Sederhana Sebuah Neuron

Dari uraian filosofi di atas, maka pemodelan sistem jaring syaraf manusia ke dalam suatu model matematika yang kemudian didefinisikan sebagai perhitungan *feedforward neural network* dapat dianalogikan sebagai berikut.

- 1) Pengolah dan pemroses sinyal dilakukan oleh peran suatu *neuron*.
- 2) Sinyal masukan yang terdapat pada lapis masukan diproses di neuron-neuron melewati suatu penghubung yaitu dendrit, dan penghubung tersebut memiliki nilai pembobot tertentu yang dinamakan *weight*, yang akan menjadi faktor pengali dari tiap sinyal yang melewatinya.
- 3) Setiap sinyal yang masuk menuju soma dijumlahkan, kemudian diaktifkan oleh fungsi aktivasi yang terjadi pada lapis tersembunyi untuk menghasilkan sinyal keluaran pada lapis keluaran.
- 4) Ambang batas sinyal keluaran dikendalikan oleh sinapsis, dimana dalam ANN dinamakan sebagai *bias*.

2.4.1 Model Artificial Neural Networks (ANN)

Satu sel syaraf terdiri dari tiga bagian, yaitu: fungsi penjumlahan (*summing function*), fungsi aktivasi (*activation function*), dan keluaran (*output*).



Gambar 2.2 Model Tiruan Sebuah Neuron

Setiap pola-pola informasi input dan output yang diberikan ke dalam ANN diproses dalam neuron. Neuron-neuron tersebut terkumpul di dalam lapisan-lapisan yang disebut *neurons layer*. Lapisan-lapisan ANN tersebut dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

- 1) Lapis masukan (*input layer*) berfungsi untuk memasukkan data masukan dengan mengaturnya sedemikian rupa dengan jumlah neuron tertentu tergantung pada data yang digunakan.
- 2) Lapis tersembunyi (*hidden layer*) berfungsi untuk memperoleh pemodelan yang optimal dengan mengatur seberapa banyak jumlah neuron pada lapis ini.
- 3) Lapis keluaran (*output layer*) berfungsi untuk mendapatkan hasil keluaran dari pemodelan *feedforward* ANN.

ANN memiliki beberapa arsitektur jaringan yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi. Arsitektur ANN tersebut antara lain[16]: jaringan layar tunggal (*single layer network*), jaringan layar jamak (*multi layer network*), dan jaringan dengan lapisan kompetitif (*competitive layer network*).

Dari gambar 2.2 di atas dapat dilihat bahwa *output* merupakan fungsi kontinu dari *input*[17]. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$O = \sigma(\text{net}) = \frac{1}{1+e^{-\text{net}}} \quad (2.1)$$

$$\text{Dimana } \text{net} = \sum_{i=0}^n w_i \cdot x_i \quad (2.2)$$

Dimana O adalah output dari JST, σ merupakan fungsi aktivasi atau sigmoid unit. Sedangkan net adalah sigma dari w_i bobot (*weight*) dikalikan dengan x_i yang merupakan *input* dari JST.

2.4.2 Fungsi Aktivasi

Jaringan syaraf terdiri atas beberapa neuron dan diantara neuron-neuron itu terdapat hubungan. Neuron-neuron akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarannya menuju ke neuron-neuron yang lain dan pada jaringan syaraf, hubungan ini dikenal dengan istilah bobot. Informasi tadi disimpan dalam suatu nilai tertentu pada bobot tersebut.



Gambar 2.3 Struktur Neuron Jaringan Syaraf

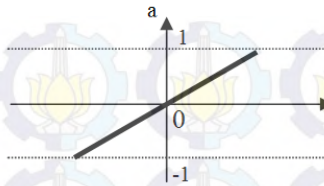
Informasi yang disebut sebagai *input* akan dikirim ke neuron dengan bobot kedatangan tertentu, lalu *input* ini akan diproses oleh suatu fungsi peramalan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang akan datang. Hasil penjumlahan ini kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap neuron. Apabila *input* tersebut melewati suatu nilai ambang tertentu, maka neuron tersebut akan diaktifkan, tapi kalau tidak, maka neuron tersebut tidak akan diaktifkan. Apabila neuron tersebut diaktifkan, maka neuron tersebut akan mengirimkan output melalui bobot-bobot *output*nya ke semua neuron yang berhubungan dengannya. Fungsi aktivasi pada JST berfungsi untuk menentukan hubungan antara *input* dan *output node* pada sebuah jaringan[18]. Fungsi aktivasi ini merupakan fungsi transfer yang membatasi nilai *output* JST pada batas tertentu. Berikut merupakan beberapa fungsi aktivasi yang umum digunakan :

1. Fungsi Linier (*purelin*)

Digunakan jika keluaran yang dihasilkan oleh JST merupakan sembarang bilangan riil ($-\infty$ sampai $+\infty$). Tidak hanya pada range $[0,1]$ atau $[-1,1]$.

Dirumuskan : $y = x$

(2.3)

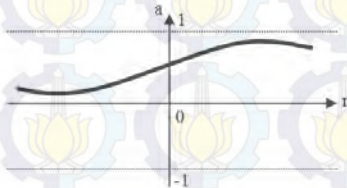


$$a = \text{purelin}(n)$$

Gambar 2.4 Fungsi Transfer Linear

2. Fungsi Sigmoid Biner (*logsig*)
Fungsi ini memiliki nilai pada range 0 sampai 1. Oleh karena itu, fungsi ini sering digunakan untuk jaringan syaraf yang membutuhkan nilai output yang terletak pada interval 0 sampai 1. Fungsi ini dirumuskan:

$$y = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2.4)$$

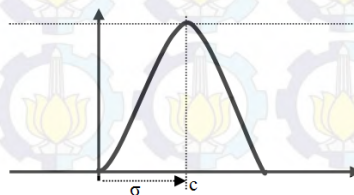


$$a = \text{logsig}(n)$$

Gambar 2.5 Fungsi Transfer Sigmoid

3. Fungsi Gaussian
Fungsi ini mempunyai dua parameter, yaitu σ dan c . Rumusan dari *Gaussian Function* dapat dilihat di bawah ini

$$y(x;\sigma,c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.5)$$



Gambar 2.6 Fungsi Transfer Gaussian

2.4.3 Normalisasi Data

Fungsi aktivasi yang bersifat nonlinier seperti fungsi *logsig* yang menghasilkan *output* dengan nilai $[0,1]$ atau $[-1,1]$. Karena hal inilah normalisasi data *input* perlu dilakukan. Normalisasi data dilakukan sebelum proses *training* pada jaringan syaraf tiruan[18].

Pada peramalan *time series* data target dinormalisasi bersamaan dengan data *input*. Data *input* dapat dinormalisasi menjadi berbagai range tertentu. Berikut beberapa tipe normalisasi yang sering digunakan:

- Transformasi linier dengan range nilai $[0,1]$

$$x_n = \frac{(x_0 - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \quad (2.6)$$

- Transformasi linier dengan range nilai $[-1,1]$

$$x_n = \frac{2(x_0 - x_{min})}{(x_{max} - x_{min}) - 1} \quad (2.7)$$

2.5 Regresi Linier

Analisis regresi merupakan salah satu teknik untuk pemodelan dan investigasi hubungan dua atau lebih variabel. Dalam analisis regresi ada satu atau lebih variabel independen atau prediktor yang biasa diwakili oleh notasi x dan satu variabel respon yang biasa diwakili dengan notasi y . Hubungan antara kedua variabel ini adalah linear. Prediksi nilai dengan pendekatan garis regresi linear sederhana didapatkan dari :

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \quad (2.8)$$

Dalam analisis regresi linear sederhana, untuk menemukan nilai optimal dari b_0 dan b_1 . Untuk mencari nilai koefisien dari b_0 dan b_1 kita menggunakan pendekatan *least squares* seperti pada persamaan 2.9. Pendekatan ini berusaha meminimumkan jumlah error kuadrat dari semua data yang digunakan untuk menemukan estimasi garis regresi.

$$\begin{aligned} \sum e^2 &= \sum (y - \hat{y})^2 \\ &= \sum (y - (b_0 + b_1 x))^2 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Dengan menurunkan $\frac{\partial \sum e^2}{\partial b_0} = 0$ dan $\frac{\partial \sum e^2}{\partial b_1} = 0$, kita bisa mendapatkan nilai optimal dari b_0 dan b_1 masing-masing:

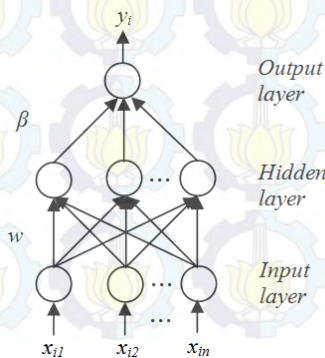
$$b_1 = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} \text{ dan } b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad (2.10)$$

2.6 Extreme Learning Machine (ELM)

Extreme Learning Machine merupakan metode pembelajaran baru dari jaringan syaraf tiruan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Huang [12]. ELM merupakan jaringan syaraf tiruan *feedforward* dengan *single hidden layer* atau biasa disebut dengan *Single Hidden Layer Feedforward neural Networks* (SLFNs)[19]. Metode pembelajaran ELM dibuat untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dari jaringan syaraf tiruan *feedforward* terutama dalam hal *learning speed*. Huang mengemukakan dua alasan mengapa JST *feedforward* mempunyai *learning speed* rendah, yaitu :

1. Menggunakan *slow gradient based learning algorithm* untuk melakukan training.
2. Semua parameter pada jaringan ditentukan secara iterative dengan menggunakan metode pembelajaran tersebut.

Pada pembelajaran dengan menggunakan *conventional gradient based learning algorithm* seperti *backpropagation* (BP) dan variaanya *Lavenberg Marquadt* (LM) semua parameter pada JST *feedforward* harus ditentukan secara manual[20]. Parameter yang dimaksud adalah *input weight* dan *hidden bias*. Parameter-parameter tersebut juga saling berhubungan antara layer yang satu dengan yang lain, sehingga membutuhkan *learning speed* yang lama dan sering terjebak pada *local minima*[13]. Sedangkan pada ELM parameter-parameter seperti *input weight* dan *hidden bias* dipilih secara random, sehingga ELM memiliki *learning speed* yang cepat dan mampu menghasilkan *good generalization performance*. Gambar di bawah ini merupakan struktur dari ELM.



Gambar 2.7 Struktur ELM

Metode ELM mempunyai model matematis yang berbeda dari jaringan syaraf tiruan feedforward. Model matematis dari ELM lebih sederhana dan efektif. Berikut model matematis dari ELM. Untuk N jumlah sample yang berbeda (X_i, t_i)

$$X_i = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}]^T \in R^n \quad (2.11)$$

$$X_i = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}]^T \in R^m \quad (2.12)$$

Standar SLFNs dengan jumlah *hidden nodes* sebanyak N dan *activation function* $g(x)$ dapat digambarkan secara matematis sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^J \beta_i g(x_j) = \sum_{i=1}^J \beta_i (W_i \cdot X_j + b_i) = o_j \quad (2.13)$$

Dimana :

$$J = 1, 2, \dots, N$$

$w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in})^T$ = merupakan vektor dari weight yang menghubungkan i th *hidden nodes* dan *input nodes*

$\beta_i = (\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im})^T$ = merupakan *weight vector* yang menghubungkan i th *hidden nodes* dan *output nodes*

b_i *Threshold* dari i th *hidden nodes*

$w_i x_j$ Merupakan *inner produk* dari w_i dan x_j

SLFNs dengan N *hidden nodes* dan *activation function* $g(x)$ diasumsikan dapat meng-approximate dengan tingkat error 0 atau dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$\sum_{j=1}^J \|o_j - t_j\| = 0 \text{ sehingga } o_j = t_j \quad (2.14)$$

$$\sum_{i=1}^J \beta_i g(W_i \cdot X_j + b_i) = t_j \quad (2.15)$$

Persamaan (2.15) dapat dituliskan secara sederhana sebagai :

$$H\beta = T \quad (2.16)$$

$$H = \begin{pmatrix} w_1 & \dots & w_N & b_1 & \dots & b_N & x_1 & \dots & x_N \\ g(w_1.x_1 + b_1) & \dots & g(w_N.x_1 + b_N) \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ g(w_1.x_N + b_1) & \dots & g(w_N.x_N + b_N) \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

$$\beta = \begin{pmatrix} \beta_1^T \\ \vdots \\ \beta_{NT}^T \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

$$T = \begin{pmatrix} t_1^T \\ \vdots \\ t_N^T \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

H pada persamaan (2.17) di atas adalah hidden layer $g(w_1.x_1 + b_1)$. *output* matrix menunjukkan *output* dari *hidden neuron* yang berhubungan dengan *input* x_i . β merupakan matrix dari *output weight* dan T matrix dari target atau *output*. Pada ELM *input weight* dan hidden bias ditentukan secara acak, maka *output weight* yang berhubungan dengan hidden layer dapat ditentukan dari persamaan (2.16).

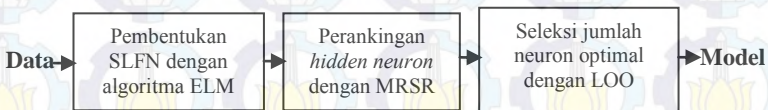
$$\beta = H^T T \quad (2.20)$$

2.7 Optimally Pruned Extreme Learning Machine (OPELM)

Salah satu alasan mengapa *feedforward neural network* cenderung tidak untuk digunakan secara luas di industri pada permasalahan sistem *data mining* adalah hampir pasti disebabkan oleh proses *training* yang sangat lambat. Hal ini dikarenakan beberapa parameter disetting dengan algoritma yang lambat. Selanjutnya, fase *training* harus diulang-ulang untuk menampilkan pemilihan struktur model, misalnya seleksi jumlah *hidden layer* atau pemilihan beberapa parameter regularisasi[21]. Guang-Bin Huang[12] mengusulkan sebuah algoritma untuk penentuan *hidden node* dan pemilihan bobot (*weight*) yang dinamakan *Extreme Learning Machine* (ELM). Keuntungan utama dari algoritma ini adalah dalam membagi waktu komputasi hingga ratusan dan membuat proses pembelajaran dari *neural network* yang sederhana.

Berdasarkan metode ELM, OPELM ditujukan untuk mengatasi kelemahan yang ada pada ELM ketika terdapat variabel yang tidak relevan atau tidak berkorelasi. Untuk alasan tersebut, diperkenalkan metode OPELM untuk pemangkasan variabel yang tidak relevan dengan memangkas neuron tidak penting dari SLFN yang dibangun oleh ELM.

Model OPELM dibangun dalam tiga tahap[22]. Langkah pertama dari metode OPELM adalah membangun struktur SLFN menggunakan algoritma ELM. Kemudian dilakukan perankingan neuron pada lapisan tersembunyi dengan algoritma MRSR (*Multiresponse Sparse Regression*), dan akhirnya penentu banyaknya neuron yang dipangkas dibuat berdasarkan metode estimasi *error Leave-One-Out* (LOO). Algoritma OPELM menggunakan kombinasi tiga jenis kernel, linear, sigmoid, dan gaussian. Sedangkan pada ELM hanya digunakan satu kernel saja, misalnya sigmoid.



Gambar 2.8 Tiga Langkah Utama dari Metode OPELM

2.7.1 Pembentukan SLFN dengan algoritma ELM

Pada proses ELM, *feedforward* ANN dibangun dengan hanya satu lapisan tersembunyi seperti yang diusulkan dalam algoritma ELM. Langkah ini dilakukan menggunakan algoritma standar ELM dengan sejumlah neuron yang cukup besar N . *Weight* antara data input dan *hidden layer* dinotasikan w_i . Bobot antara *hidden layer* dan *output* dilambangkan β . Fungsi aktivasi yang digunakan adalah kombinasi dari ketiga fungsi yaitu *linear*, *sigmoid*, dan *gaussian*, sementara ELM aslinya menggunakan kernel sigmoid dan model ELM ini biasanya dirumuskan berdasarkan satu jenis fungsi aktivasi atau kernel saja. *Input weight* dan *bias* ditentukan secara acak. Matrik *output hidden layer* didapat dari kombinasi inisialisasi parameter secara acak dari ketiga fungsi tersebut. Dalam penentuan bobot masukan w_i , ditentukan secara acak secara terdistribusi seragam (misalnya antara -10 dan 10). Fungsi aktivasi f dari lapisan tersembunyi didiferensiasi dalam interval setiap dari domain, *output* bobot β hanya dapat dihitung dari matrik output *hidden layer* H . Setiap kolom H diberikan oleh hasil *weight vector* dan *input vector* : $h_i = x_i^T \cdot w_i$. *Output weight* dihitung dari $\beta = H^T y$, dimana H^T singkatan untuk invers Moore-Penrose dan $y = (y_1, \dots, y_M)^T$ adalah *output*.

2.7.2 Perankingan *hidden neuron* dengan MRSR

Sebagai langkah kedua dalam metode OPELM, *Multiresponse Spare Regression* (MRSR) diterapkan untuk perankingan *hidden neuron* berdasarkan keakurasiannya. MRSR diperkenalkan oleh Similä dan Tikka[23]. Ide utama dari algoritma ini adalah menambahkan setiap kolom dari matriks regressor satu per satu ke dalam model $Y^k = X W^k$, dimana $Y^k = [y_1^k \dots y_p^k]$ adalah pendekatan target model T . Dimana $X = [x_1 \dots x_m]$ merupakan $n \times m$ matrik regressor, $T = [t_1 \dots t_p]$ $n \times p$ matrik target dan W^k *weight matrix* memiliki k baris tak nol dan sebuah kolom baru pada matriks regressor ditambahkan ke model. Sebagai catatan bahwa MRSR adalah perluasan dari algoritma *Least Angle Regression* (LARS) yang sebenarnya merupakan teknik perankingan variabel. Solusi yang dihasilkan sangat tepat jika permasalahan berbentuk linier. *Neural network* dibangun pada tahap sebelumnya, *hidden layer neuron* diranking oleh algoritma LARS. Karena bagian antara *hidden* dan *output layer* dari jaringan *neural network* adalah linear, LARS akan menemukan perankingan terbaik (*best ranking*).

Perankingan didapat melalui pengujian korelasi. Dengan mendefinisikan nilai *cumulative correlation* dan *maximum cumulative correlation* terlebih dahulu. Kemudian didapat regresor-regresor yang memenuhi korelasi maksimumnya (A).

cumulative correlation antara regressor x_j ke- j dan *residuals*

$$c_j^k = \|(T - Y^k)^T x_j\| = \sum_{i=1}^p |(t_i - y_i^k)^T x_j| \quad (2.21)$$

Maximum cumulative correlation

$$c_{max}^k = \max_j \{c_j^k\}, A = \{j | c_j^k = c_{max}^k\} \quad (2.22)$$

2.7.3 Seleksi jumlah neuron optimal dengan LOO

Setelah perankingan neuron dari *hidden layer* telah diperoleh jumlah neuron terbaik untuk model yang dipilih, digunakan LOO untuk memvalidasi. Menghitung LOO *error* bisa sangat memakan waktu ketika kumpulan data cenderung memiliki sampel neuron penting. Untungnya, PERSS statistik (*or PREDiction Sum of Squares*) memberikan formula langsung dan tepat untuk perhitungan kesalahan ini pada model linier

$$\varepsilon^{\text{PRESS}} = \frac{y_i - h_i b}{1 - h_i P h_i^T} \quad (2.23)$$

Dimana i dinotasikan sebagai *hidden node* ke- i , P didefinisikan sebagai $P = (H^T H)^{-1}$, H adalah *hidden layer output matrix* yang didefinisikan sebelumnya, dan h_i adalah kolom pada keluaran matrik lapisan tersembunyi.

Jumlah neuron yang optimal didapat dari estimasi *LOO error* pada jumlah node-node (yang telah diranking berdasarkan akurasi) dan menyeleksi jumlah neuron dari minimum errornya.

Kemudian neuron hasil pemangkasan tersebut digunakan untuk menghitung *Output weight* yang didapat dari hasil invers dari matrik *hidden layer* dan target *Output*

2.8 Mengukur Kinerja OPELM

Kinerja suatu model peramalan dapat diukur dengan membandingkan hasil ramalan yang diperoleh dengan data yang sebenarnya terjadi. Pada umumnya, perbandingan itu dapat dilakukan dengan membandingkan *percentage error* rata-rata (MAPE). Semakin kecil nilai MAPE maka menunjukkan bahwa algoritma pembelajaran tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam mengenali pola suatu data. MAPE menampilkan persentase perbedaan nilai rata-rata absolut antara hasil peramalan dengan nilai yang sebenarnya terjadi. Untuk mengukur kinerja dari OPELM ini digunakan MAPE.

2.8.1 MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

MAPE merupakan parameter yang sering digunakan untuk mengukur kinerja suatu peramalan. MAPE dirumuskan dengan :

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{\text{prediksi}} - Y_{\text{target}}}{Y_{\text{target}}} \right| \cdot 100\% \quad (2.24)$$

Dimana :

- Y_{prediksi} = nilai prediksi JST
- Y_{target} = nilai aktual/sebenarnya
- n = jumlah data yang diproses

jika nilai MAPE makin mendekati nol maka kinerja hasil peramalan semakin baik.



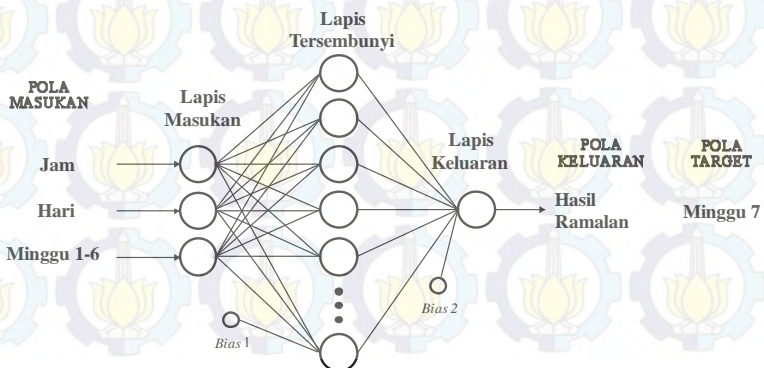
BAB 3

PERAMALAN BEBAN LISTRIK MENGGUNAKAN OPELM

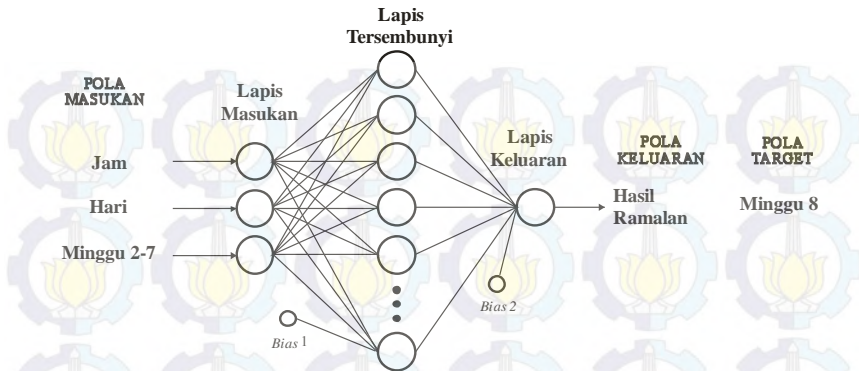
3.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan adalah data historis beban listrik harian per 30 menit selama 24 jam dalam satuan Megawatt (MW) pada sistem kelistrikan Jawa Timur pada 2 Januari 2012 hingga 26 Februari 2012. Data diambil dari PT PLN (Persero) Area Pengatur Beban (APB) Jawa Timur. Kemudian mengelompokkan data berdasarkan pola beban *similar day* untuk satu minggu depan, masing-masing hari (Senin, Selasa, Rabu, Kamis, Jumat, Sabtu, Minggu)

Data yang digunakan sebagai masukan adalah data beban, hari, dan jam. Hari dan jam diubah terlebih dahulu ke bentuk desimal sebelum digunakan sebagai masukan. Senin diinisialisasi menjadi 10, Selasa menjadi 20, seterusnya hingga kelipatan 10 (Minggu menjadi 70). Sedangkan jam diubah menjadi 1 hingga 48 karena data diambil per 30 menit selama 24 jam. Data beban dibagi menjadi dua yaitu data untuk *training* dan data untuk *testing*. Data pada awalnya melalui proses *training* mengenali pola beban, kemudian disimulasikan dengan proses *testing* untuk mengetahui keakuratan peramalan beban di masa yang akan datang. Pemodelan jaringan *feedforward* ANN untuk proses *training* maupun *testing* menjadi sebagai berikut.



Gambar 3.1 Arsitektur ANN untuk Proses *Training*



Gambar 3.2 Arsitektur ANN untuk Proses *Testing*

Berikut perumusan data masukan dan keluaran berdasarkan pemodelan di atas.

Data untuk proses *training* pengenalan pola beban adalah :

$$y_{\text{hasil_training } M-7} = f(y_{M-6}, y_{M-5}, y_{M-4}, y_{M-3}, y_{M-2}, y_{M-1}, y_{\text{hari}}, y_{\text{jam}}) \quad (3.1)$$

Data untuk proses *testing* peramalan beban adalah :

$$y_{\text{hasil_ramal } M-8} = f(y_{M-7}, y_{M-6}, y_{M-5}, y_{M-4}, y_{M-3}, y_{M-2}, y_{\text{hari}}, y_{\text{jam}}) \quad (3.2)$$

Peramalan ini berdasarkan data *similar day*, dimana pola beban hari Senin pada minggu ini akan mempunyai pola yang sama dengan hari Senin pada minggu yang akan datang. Setelah dilakukan identifikasi pola beban maka diperoleh informasi selain beban memiliki pola yang sama, dan kurva beban semakin meningkat. Hal ini dikarenakan pola konsumsi masyarakat terhadap kebutuhan listrik yang cenderung semakin meningkat.

3.2 Pemodelan Peramalan Beban Menggunakan OPELM

Tahap peramalan beban dengan OPELM adalah sebagai berikut.

1. Normalisasi data *training* dan *testing*.

Data *training* dan *testing* dinormalisasi sehingga didapatkan nilai dengan range $[-1, 1]$.

Rumus yang digunakan adalah:

$$X_n = 2 [X_p - \min(X_p)] / [\max(X_p) - \min(X_p)] - 1 \quad (3.3)$$

Dimana :

X_n = nilai hasil normalisasi dengan range $[-1,1]$
 X_p = nilai data asli yang belum dinormalisasi
 $\min(X_p)$ = nilai minimum pada data set
 $\max(X_p)$ = nilai maximum pada data set

2. Menentukan fungsi aktivasi dan maksimum jumlah *hidden neuron*

Berbeda dengan ELM *original*-nya yang menggunakan satu fungsi aktivasi saja (misalnya *sigmoid*), pada OPELM digunakan kombinasi dari tiga fungsi aktivasi, yaitu *linear*, *sigmoid*, dan *gaussian*. Jumlah *hidden neuron* tidak ditentukan secara *trial and error* seperti yang dilakukan pada ELM, karena parameter ELM sudah dioptimasi dengan menggunakan MRSR dan validasi LOO. Maka pada OPELM ini hanya ditetapkan maksimum jumlah *hidden neuron* saja sebanyak 25.

3. Inisialisasi parameter secara acak

Inisialisasi parameter secara acak dengan menggunakan kombinasi fungsi *lsg* (*linear*, *sigmoid*, dan *gaussian*) untuk mendapatkan *input weight*, *bias*, dan *hidden layer output*. Dengan perintah program sebagai berikut.

Linear :

```
KM.value=[KM.value x];
```

Sigmoid :

```
KM.value=[KM.value tanh(x*W1+ones(N,1)*W10)];
```

Gaussian :

```
for j=1:max(round(maxneur/2),1)
KM.value(:,j)=gaussian_func(x,W1(j,:),W10(1,j));
End
```

Ditentukan nilai c (titik tengah) sebesar $w1(j, :)$, σ (lebar fungsi keanggotaan) sebesar $w10(1, j)$, dan x sebagai data *training*. Dimana $w1$ merupakan *input weight*, $w10$ merupakan *bias of hidden neuron*, dan N jumlah baris data. $KM.value$ adalah kernel matrik yang merupakan *hidden layer output*.

4. Perankingan dan pemangkasan neuron

Multiresponse Spare Regression (MRSR) diterapkan untuk perankingan *hidden neuron* berdasarkan keakurasiannya. Ide utama

dari algoritma ini adalah menambahkan setiap kolom dari matriks regressor (matriks *hidden layer output*) satu per satu ke dalam model $Y^k = X W^k$, dimana $Y^k = [y_1^k \dots y_p^k]$ adalah model pendekatan target. Dimana $X = [x_1 \dots x_m]$ merupakan $n \times m$ matrik regressor (matrik *hidden layer output*), $T = [t_1 \dots t_p]$ $n \times p$ matrik target dan W^k *weight matrix* memiliki k baris tak nol dan sebuah kolom baru pada matriks regressor ditambahkan ke model. Perankingan didapat melalui pengujian korelasi

Dengan $k=0$, inisialisasi Y^0 dan W^0 ke nol, dan normalisasi T dan X ke rata nol. Definisikan *cummulative correlation* c_j^k antara regressor x_j dan residual, serta maksimum *cummulative correlation* c_{max}^k , maka didapat kumpulan regressor yang memenuhi korelasi maksimumnya, dinotasikan dengan A dan membentuk matrik $n \times |A|$ $X_A = [x_1 \dots x_j]$.

$$c_j^k = \|(T - Y^k)^T x_j\| = \sum_{i=1}^p |(t_i - y_i^k)^T x_j| \quad (3.4)$$

$$c_{max}^k = \max_j \{c_j^k\}, A = \{j | c_j^k = c_{max}^k\} \quad (3.5)$$

Kemudian hitung parameter OLS \bar{W}^{k+1} dan estimasi OLS untuk target \bar{Y}^{k+1}

$$\bar{W}^{k+1} = (X_A^T X_A)^{-1} X_A^T T \quad (3.6)$$

$$\bar{Y}^{k+1} = X_A (X_A^T X_A)^{-1} X_A^T T \quad (3.7)$$

Greedy forward selection menambahkan regressor berdasarkan persamaan (3.4) dengan menggunakan estimasi OLS (3.7). Algoritmanya dapat didefinisikan dengan perpindahan dari estimasi MRSR Y^k menuju estimasi OLS \bar{Y}^{k+1} , $U^k = \bar{Y}^{k+1} - Y^k$ namun cara tersebut tidak diijinkan. Langkah yang mungkin diambil ke arah U^k untuk regressor x_j dimana $j \notin A$ memiliki *cummulative correlation* besar dengan residual yang siap ditambahkan ke regressor.

Untuk update estimasi MRSR Y^{k+1} perlu dihitung nilai step size γ^k yang tepat. Ini membuat *cumulative correlation* pada langkah selanjutnya sebagai sebuah fungsi γ

$$C_j^{k+1}(\gamma) = |1 - \gamma| C_{max}^k \text{ untuk } j \in A \quad (3.8)$$

$$C_j^{k+1}(\gamma) = \|a_j^k - \gamma b_j^k\| \text{ untuk } j \notin A \quad (3.9)$$

Dimana $a_j^k = (T - Y^k)^T x_j$ dan $b_j^k = (\bar{Y}^{k+1} - Y^k)^T x_j$. Regressor baru dengan index $j \notin A$ akan dimasukkan ke model ketika (3.8) dan (3.9) sama. Ini terjadi jika *step size* diambil dari

$$\Gamma_j = \left\{ \frac{c_j^k + s^T a_j^k}{c_{max}^k + s^T b_j^k} \right\}_{s \in \mathcal{S}} \quad (3.10)$$

Dimana \mathcal{S} adalah *sign vector* 2^p , matrik $p \times 1$ dengan element \mathcal{S} bisa bernilai 1 atau -1. Pilihan terbaik adalah *step size* terkecil dengan nilai positive yang menghasilkan regressor baru

$$\gamma^k = \min \{ \gamma | \gamma \geq 0 \text{ dan } \gamma \in \Gamma_j \text{ untuk } j \notin A \} \quad (3.11)$$

didapat *update* estimasi target sebagai berikut.

$$Y^{k+1} = Y^k + \gamma^k (\bar{Y}^{k+1} - Y^k) \quad (3.12)$$

Dan *weight matrix* yang memenuhi (3.12) dan (3.4) diupdate menjadi

$$W^{k+1} = (1 - \gamma^k) W^k + \gamma^k \bar{W}^{k+1} \quad (3.13)$$

Parameter dari regressor terpilih disusutkan berdasarkan persamaan (2.30). Pemilihan akhir model dari m kemungkinan didasarkan pada akurasi prediksi untuk data baru.

Setelah perankingan neuron dari *hidden layer* telah diperoleh jumlah neuron terbaik untuk model yang dipilih, digunakan LOO untuk memvalidasi. Menghitung LOO *error* bisa sangat memakan waktu ketika kumpulan data cenderung memiliki sampel neuron penting. Untungnya, PERSS statistik (*or PREDiction Sum of Squares*) memberikan formula langsung dan tepat untuk perhitungan kesalahan ini pada model linier:

$$\varepsilon^{\text{PRESS}} = \frac{y_i - h_i b}{1 - h_i P h_i^T} \quad (3.14)$$

Dimana i dinotasikan sebagai *hidden node* ke- i , P didefinisikan sebagai $P = (H^T H)^{-1}$, H adalah *hidden layer output matrix* yang didefinisikan sebelumnya, dan h_i adalah kolom pada keluaran matrik lapisan tersembunyi.

Jumlah neuron yang optimal didapat dari estimasi *LOO error* pada jumlah node-node (yang telah diranking berdasarkan akurasi) dan menyeleksi jumlah neuron dari minimum errornya.

5. Menghitung *Output weight* dan target *Output*

Neuron hasil pemangkasan digunakan untuk menghitung *output weight* yang didapat dari hasil invers dari matriks *hidden layer output* dan target *Output*.

Dengan perintah program sebagai berikut.

Output weight :

```
W2(1:min_index(i)+1,i)=[KM.value(:,1:min_index(i))
ones(N,1)]\y(:,i);
```

Output

```
yh(:,i)=[KM.value(:,1:min_index(i))ones(N,1)]*W2(1:
min_index(i)+1,i);
```

W2 merupakan *output weight (b)* dan *min_index* merupakan jumlah neuron yang telah dipangkas pada proses MRSR dan LOO.

6. Denormalisasi *Output*

Output yang dihasilkan dari proses *training* didenormalisasi sehingga didapatkan data prediksi dari proses *training* OPELM. Rumus denormalisasi yang digunakan adalah.

$$X_d = 0.5x(X_n + 1)x(\max\{X_p\} - \min\{X_p\}) + \min\{X_p\} \quad (3.15)$$

Dimana :

X_d	= nilai data setelah didenormalisasi
X_n	= data output sebelum denormalisasi
$\min\{X_p\}$	= nilai minimum pada data set
$\max\{X_p\}$	= nilai maksimum pada data set

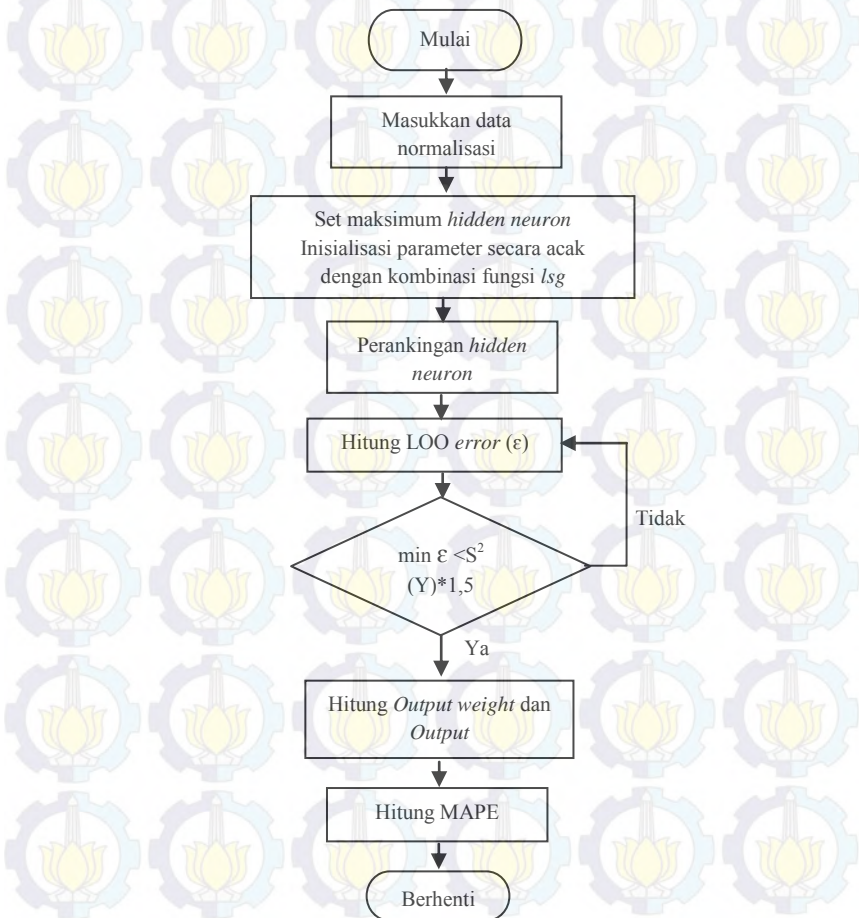
7. Menghitung MAPE

MAPE digunakan untuk mengetahui *error* hasil ramalan OPELM. Dengan rumus sebagai berikut. jika nilai MAPE makin mendekati nol maka kinerja hasil peramalan semakin baik.

8. Menggunakan model yang telah diperoleh pada proses *training* untuk menghasilkan nilai ramalan pada data *testing*. Pada proses ini menggunakan *input* berupa data *testing*, matrik kernel, jumlah

hidden neuron hasil optimasi, dan *output weight*. Pada proses ini, data dinormalisasi terlebih dahulu ke range $[-1,1]$. Dan *outputnya* didenormalisasi untuk mendapatkan nilai sebenarnya. Langkah terakhir menghitung MAPE untuk nilai keakurat

Flowchart meramalkan beban listrik menggunakan metode OPELM ditunjukkan oleh Gambar 3.3



Gambar 3.3 Flowchart Peramalan Menggunakan OPELM

3.4 Membandingkan Hasil Peramalan OPELM dan ELM

Setelah mendapatkan hasil ramalan dengan metode OPELM, maka dapat diketahui besar nilai MAPE yang dihasilkan oleh metode ini. Langkah selanjutnya adalah membandingkan nilai MAPE tersebut dengan MAPE dari metode ELM. Dengan demikian maka kita dapat melihat tingkat keakuratan dari masing-masing metode. Selain itu, juga akan dilakukan plot data hasil ramalan dari masing-masing metode yang dibandingkan dengan data aktual yang sebenarnya.

BAB 4

SIMULASI, HASIL, DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Data historis beban listrik harian diperoleh dari PT. PLN (Persero) Area Pengatur Beban (APB) Jawa Timur. Data yang digunakan sebagai *input* adalah data beban listrik harian per 30 menit selama tanggal 2 Januari 2012 hingga 26 Februari 2012. Data diolah menggunakan *software* Matlab 7.8.0 menggunakan *Optimally Pruned Extreme Learning Machine* (OPELM) dan *Extreme Learning Machine* (ELM). Sistem peramalan ini berdasarkan *similar day* untuk meramalkan beban listrik satu hari ke depan, misalnya pola beban hari Senin pada minggu ini akan mempunyai pola yang sama dengan hari Senin pada minggu yang akan datang. Pada Tugas Akhir ini digunakan data beban listrik harian pada hari kerja (*week day*), Senin sampai dengan Jumat dan data beban listrik harian untuk akhir minggu (*week end*), hari Sabtu dan Minggu yang tersaji pada Lampiran.

Pengidentifikasian karakteristik atau pola konsumsi beban perlu dilakukan sebelum melakukan peramalan. Karena kecenderungan pola aktivitas konsumen listrik akan berulang dengan tren yang meningkat. Maka hendaknya data akhir minggu yang dipilih memperhatikan korelasinya terhadap data aktual yang diramalkan sehingga proses pengenalan pola beban memperoleh hasil yang akurat. Proses *testing* dari hasil *training* terbaik tidak selalu memberikan hasil yang baik pula, tergantung pada korelasi data yang digunakan sebagai masukan[2]. Jika data yang digunakan untuk *testing* mempunyai korelasi yang hampir sama antara data-data masukan yang digunakan maka hasil *testing* akan memberikan hasil yang bagus, dan sebaliknya.

4.2 Analisis Hasil

Peramalan beban dimulai dengan proses *training* menggunakan metode *Optimally Pruned Extreme Learning Machine* untuk pengenalan pola beban dan diharapkan memperoleh hasil yang akurat yang menyerupai data target pelatihan. Kemudian pemodelan yang diperoleh digunakan untuk proses *testing* untuk meramalkan beban listrik di masa yang akan datang.

Data yang digunakan dalam proses *training* dan *testing* adalah sebagai berikut.

Data *training*:

$$(y_{13Feb}, y_{14Feb}, y_{15Feb}, \dots, y_{19Feb}) = f(y_{2Jan}, y_{3Jan}, y_{4Jan}, \dots, y_{12Feb}) \quad (4.1)$$

Data *testing*:

$$(y_{20Feb}, y_{21Feb}, y_{22Feb}, \dots, y_{26Feb}) = f(y_{9Jan}, y_{10Jan}, y_{11Jan}, \dots, y_{19Feb}) \quad (4.2)$$

Berikut ini merupakan hasil peramalan untuk satu minggu ke depan menggunakan OPELM dan ELM. Pada Tabel 4.1 adalah nilai keakuratan pada data *training* menggunakan metode OPELM dan ELM untuk satu minggu ke depan. Mengingat metode OPELM tidak dilakukan *trial and error* seperti pada metode ELM sehingga tidak perlu dilakukan percobaan berkali-kali untuk mendapatkan hasil *training* yang bagus. Pada OPELM, parameter ELM sudah dioptimasi dengan menggunakan MRSR dan validasi LOO untuk perankingan dan pemangkasan neuron. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah kombinasi antara *linear*, *sigmoid*, dan *gaussian* dengan maksimum jumlah *hidden neuron* ditetapkan sebanyak 25. Hasil optimasi menghasilkan jumlah *hidden neuron* yang lebih kecil, yaitu sebanyak 8 *hidden neuron*. Pada ELM digunakan fungsi *linear* karena data yang diramalkan bersifat stationer dengan jumlah *hidden neuron* sama dengan yang digunakan OPELM.

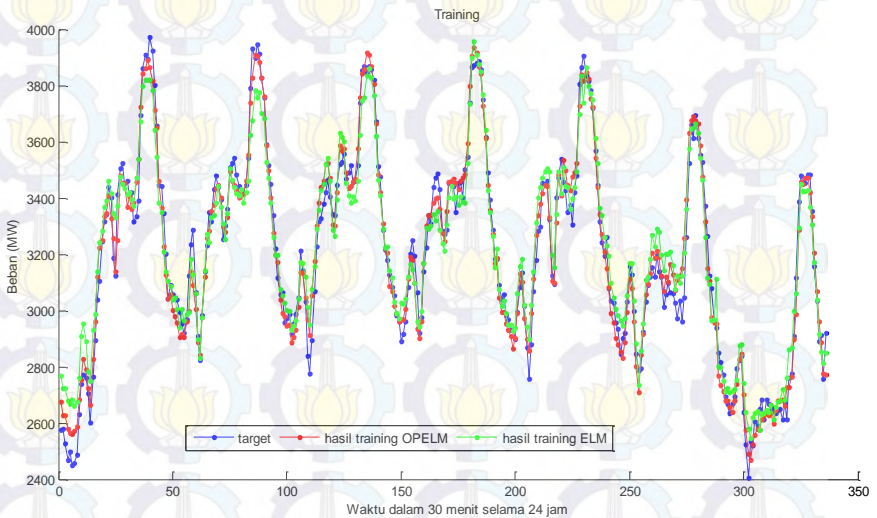
Tabel 4.1 Keakuratan Model Peramalan Data *Training* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Satu Minggu ke Depan.

Metode	Fungsi Aktivasi	Jumlah <i>hidden neuron</i>	MAPE <i>training</i> (%)
OPELM	<i>lsg</i>	8	1,5391
ELM	<i>linear</i>		2,1570

**lsg* = *linear, sigmoid, gaussian*

Berdasarkan Tabel diketahui bahwa metode OPELM memiliki nilai MAPE *training* sebesar 1,5391% sedangkan pada metode ELM sebesar 2,1570%. Nilai MAPE OPELM lebih kecil dibandingkan metode ELM. Grafik perbandingan hasil *training* antara OPELM dan ELM disajikan pada Gambar 4.1. *Input weight, bias of hidden neuron*, dan *output weight* yang diperoleh pada proses *training* kemudian

digunakan sebagai *input* pada proses *testing* untuk meramalkan beban listrik. Hasil peramalan menggunakan OPELM kemudian dibandingkan dengan ELM, dimana keduanya masing-masing menggunakan 8 *hidden neuron*.



Gambar 4.1 Plot Perbandingan Hasil *training* Peramalan Beban Listrik untuk Satu Minggu ke Depan

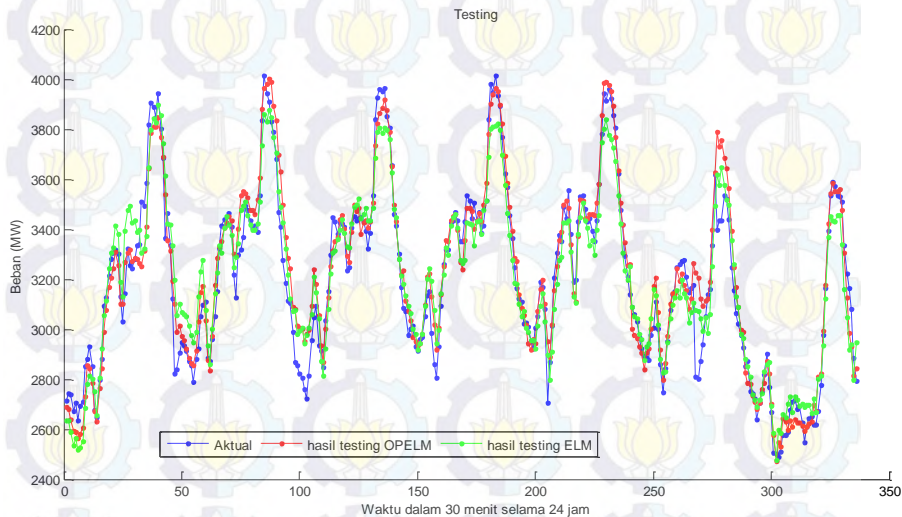
Untuk melihat seberapa baik model yang terbentuk, dilakukan validasi model dengan data *testing*. Berikut tabel perbandingan keakuratan hasil ramalan dari metode OPELM dan ELM.

Tabel 4.2 Perbandingan Keakuratan Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Satu Minggu ke Depan

Metode	MAPE <i>training</i> (%)	MAPE <i>testing</i> (%)
OPELM	1,5391	2,1935
ELM	2,1570	2,6470

Berdasarkan Tabel 4.2 diketahui bahwa metode OPELM memiliki nilai MAPE *testing* sebesar 2,1935% dan ELM 2,6470%. Nilai MAPE OPELM lebih kecil dibandingkan dengan ELM. Hal ini

menunjukkan metode OPELM memiliki keakuratan lebih baik daripada ELM. Hasil *testing* menggunakan metode OPELM dan ELM ditunjukkan pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Plot Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Satu Minggu ke Depan

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa hasil peramalan dengan metode OPELM memiliki pola beban yang sama dengan pola beban data aktual tetapi memiliki *error* lebih kecil dibandingkan hasil peramalan dengan metode ELM.

Jika hasil pengujian peramalan direpresentasikan dalam jumlah beban (MW) per harinya dan ditunjukkan *MAPE error*, maka dapat ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil keseluruhan Pengujian Peramalan pada Seluruh Hari Menggunakan Metode OPELM dan ELM

	MAPE Pengujian (%)						
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
OPELM	2,5733	2,6120	2,4664	1,5538	1,3579	3,1739	1,6177
ELM	3,6637	2,5929	2,8407	2,1667	2,2179	2,5126	2,5349

Pada Tabel 4.3 didapatkan besar nilai MAPE dari proses *testing* dari metode OPELM dan ELM. MAPE *testing* terkecil dengan metode OPELM yang menunjukkan bahwa hasil peramalan terbaik ditunjukkan pada peramalan pada hari Jumat sebesar 1,3579%. Sedangkan MAPE *testing* terbesar dengan metode OPELM yang menunjukkan hasil peramalan paling tidak akurat terjadi pada peramalan hari Sabtu sebesar 3,1739%. Secara keseluruhan dari hasil *error* MAPE yang didapat, peramalan menggunakan metode OPELM memiliki nilai keakuratan lebih baik dari metode ELM. Hasil *testing* sangat dipengaruhi oleh pemilihan data serta pola beban yang sangat fluktuatif dan cenderung memiliki tren meningkat, serta tidak dapat dipastikan. Hasil peramalan ini merupakan suatu perkiraan dalam usaha untuk mengurangi ketidakpastian tersebut.

Pada subbab berikut ini akan dipaparkan hasil pengujian peramalan satu hari ke depan dari senin hingga minggu, prosentase nilai *error*, dan perbandingan hasil dengan metode ELM menggunakan kriteria keakuratan MAPE.

4.2.1 Peramalan Beban Listrik untuk Hari Senin.

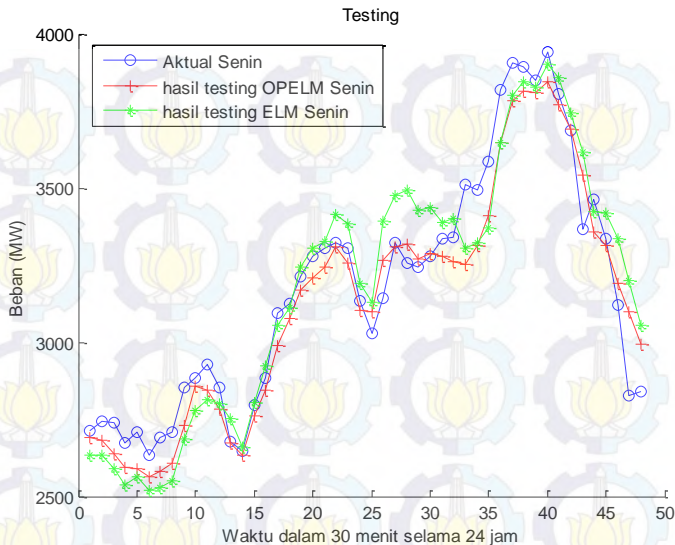
Berikut ini pada Tabel 4.4 adalah perbandingan nilai keakuratan hasil ramalan dari metode OPELM dan ELM untuk hari Senin.

Tabel 4.4 Perbandingan Keakuratan Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Senin

Metode	Fungsi Aktivasi	Jumlah <i>hidden neuron</i>	MAPE <i>testing</i> (%)
OPELM	<i>lsg</i>	8	2,5733
ELM	<i>linear</i>		3,6637

**lsg* = *linear, sigmoid, gaussian*

Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui bahwa metode OPELM memiliki nilai MAPE *testing* sebesar 2,5733% dan ELM 3,6637%. Nilai MAPE OPELM lebih kecil dibandingkan dengan ELM. Hal ini menunjukkan metode OPELM memiliki keakuratan lebih baik daripada ELM. Hasil *testing* menggunakan metode OPELM dan ELM ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Plot Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Senin

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa hasil peramalan dengan metode OPELM memiliki pola beban yang sama dengan pola beban data aktual tetapi memiliki *error* lebih kecil dibandingkan hasil peramalan dengan metode ELM.

Jika hasil pengujian peramalan direpresentasikan dalam jumlah beban (MW) per 30 menit dan ditunjukkan *error* per 30 menitnya maka dapat ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil *Testing* Peramalan Beban untuk Hari Senin

Senin, 20 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
00.30	2713,70	2690,98	0,8373	2634,07	2,9343
01.00	2742,10	2681,81	2,1988	2635,34	3,8933
01.30	2739,10	2638,88	3,6589	2589,08	5,4769
02.00	2672,60	2593,50	2,9596	2535,57	5,1274
02.30	2707,90	2589,86	4,3592	2564,59	5,2922
03.00	2635,50	2564,51	2,6937	2519,40	4,4052

Lanjutan Tabel 4.5

Senin, 20 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
03.30	2692,20	2580,15	4,1620	2527,51	6,1173
04.00	2708,70	2608,00	3,7176	2552,27	5,7750
04.30	2851,40	2730,14	4,2528	2685,39	5,8219
05.00	2882,80	2857,54	0,8763	2780,47	3,5496
05.30	2929,70	2842,37	2,9809	2813,24	3,9753
06.00	2851,90	2783,42	2,4012	2802,08	1,7469
06.30	2679,10	2672,92	0,2306	2752,10	2,7248
07.00	2649,10	2631,62	0,6600	2657,93	0,3333
07.30	2797,87	2762,83	1,2526	2805,51	0,2728
08.00	2881,58	2845,21	1,2620	2923,59	1,4578
08.30	3092,16	2987,89	3,3719	3055,15	1,1969
09.00	3127,11	3077,65	1,5817	3112,53	0,4662
09.30	3213,66	3167,07	1,4496	3242,15	0,8865
10.00	3279,98	3207,60	2,2068	3306,66	0,8134
10.30	3304,28	3244,38	1,8129	3327,41	0,7001
11.00	3320,54	3308,84	0,3525	3414,93	2,8425
11.30	3303,88	3255,73	1,4575	3382,74	2,3870
12.00	3131,88	3101,44	0,9719	3189,18	1,8295
12.30	3029,82	3100,33	2,3272	3130,56	3,3250
13.00	3141,92	3267,35	3,9922	3393,52	8,0078
13.30	3320,90	3307,26	0,4108	3476,99	4,7002
14.00	3255,90	3320,11	1,9720	3494,98	7,3431
14.30	3242,48	3271,64	0,8992	3429,04	5,7536
15.00	3279,48	3285,61	0,1868	3437,15	4,8078
15.30	3334,84	3279,74	1,6522	3388,35	1,6046
16.00	3340,84	3262,74	2,3376	3399,25	1,7484
16.30	3510,78	3251,16	7,3949	3304,79	5,8673
17.00	3493,28	3312,79	5,1668	3323,15	4,8702
17.30	3584,12	3410,49	4,8445	3371,91	5,9207
18.00	3818,70	3645,23	4,5426	3646,72	4,5037
18.30	3906,46	3783,75	3,1411	3799,90	2,7277
19.00	3890,88	3811,66	2,0361	3844,08	1,2029
19.30	3847,50	3809,22	0,9948	3828,13	0,5035
20.00	3941,96	3846,30	2,4268	3899,42	1,0790
20.30	3803,00	3767,84	0,9247	3855,87	1,3902
21.00	3686,10	3690,94	0,1313	3745,37	1,6079
21.30	3365,40	3540,75	5,2105	3614,37	7,3980

Lanjutan **Tabel 4.5**

Senin, 20 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
22.00	3464,80	3356,46	3,1269	3423,85	1,1818
22.30	3336,40	3313,41	0,6892	3420,68	2,5260
23.00	3121,80	3192,07	2,2508	3333,65	6,7863
23.30	2825,00	3100,15	9,7399	3199,88	13,2701
24.00	2838,10	2991,62	5,4093	3056,76	7,7046
Maximum Error		9,7399		13,2701	
Minimum Error		0,1313		0,2728	
Average Error		2,5733		3,6637	

Berdasarkan Tabel 4.5 untuk beban puncak pada peramalan OPELM yaitu sebesar 3846,30 MW pada pukul 20.00 dan pada peramalan ELM sebesar 3899,42 MW pada pukul 20.00. Sedangkan dari data aktual beban puncak terjadi pada pukul 20.00 sebesar 3941,96 MW. Hasil OPELM memiliki *error* maksimum 9,7399% pada beban pukul 23.30, *error* minimum 0,1313% pada pukul 21.00, dan *error* rata-rata 2,5733%. Sedangkan hasil dari ELM menunjukkan *error* maksimum 13,2701% pada pukul 23.30, *error* minimum 0,2728% pada pukul 07.30, dan *error* rata-rata 3,6637%. Secara keseluruhan, peramalan OPELM memberikan hasil yang terbaik dibanding dengan metode ELM dilihat dari *error*nya.

4.2.2 Peramalan Beban Listrik untuk Hari Selasa.

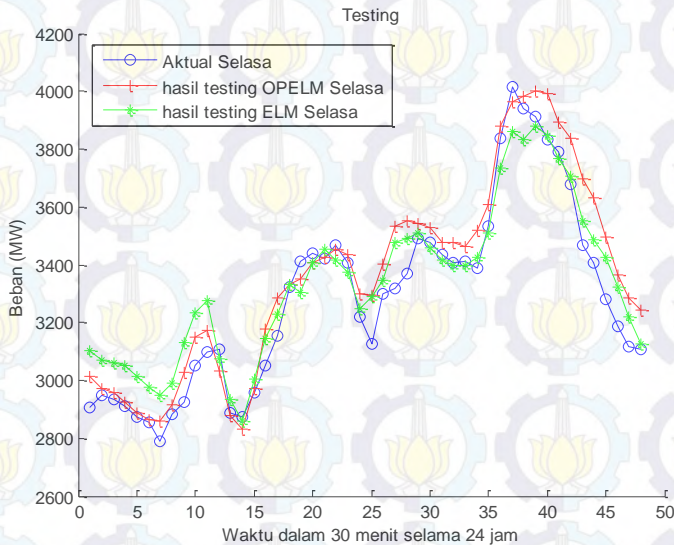
Berikut ini pada Tabel 4.6 adalah perbandingan nilai keakuratan hasil ramalan dari metode OPELM dan ELM untuk hari Selasa.

Tabel 4.6 Perbandingan Keakuratan Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Selasa

Metode	Fungsi Aktivasi	Jumlah <i>hidden neuron</i>	MAPE <i>testing</i> (%)
OPELM	<i>lsg</i>	8	2,6120
ELM	<i>linear</i>		2,5929

**lsg* = *linear*, *sigmoid*, *gaussian*

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa metode OPELM memiliki nilai MAPE *testing* sebesar 2,6120% dan ELM 2,5929%. Nilai MAPE OPELM sedikit lebih besar dibandingkan dengan ELM. Hal ini menunjukkan metode ELM memiliki keakuratan sedikit lebih baik daripada OPELM. Hasil *testing* menggunakan metode OPELM dan ELM ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Plot Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Selasa

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa hasil peramalan dengan metode OPELM memiliki pola beban yang sama dengan pola beban data aktual tetapi memiliki *error* sedikit lebih besar dibandingkan hasil peramalan dengan metode ELM.

Jika hasil pengujian peramalan direpresentasikan dalam jumlah beban (MW) per 30 menit dan ditunjukkan *error* per 30 menitnya maka dapat ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil *Testing* Peramalan Beban untuk Hari Selasa

Selasa, 21 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
00.30	2905,00	3013,52	3,7356	3101,59	6,7673
01.00	2947,30	2971,74	0,8294	3069,34	4,1406
01.30	2934,40	2957,84	0,7990	3061,81	4,3418
02.00	2913,30	2924,28	0,3768	3052,86	4,7906
02.30	2872,70	2887,11	0,5018	3013,95	4,9170
03.00	2854,60	2865,80	0,3925	2976,63	4,2750
03.30	2788,10	2857,50	2,4890	2947,14	5,7041
04.00	2883,10	2915,81	1,1347	2989,37	3,6859
04.30	2923,00	3029,62	3,6477	3132,20	7,1569
05.00	3053,80	3147,57	3,0707	3232,72	5,8588
05.30	3096,10	3172,71	2,4743	3277,96	5,8738
06.00	3108,60	3033,81	2,4060	3075,72	1,0577
06.30	2886,45	2876,66	0,3392	2935,25	1,6908
07.00	2874,55	2833,90	1,4141	2859,79	0,5136
07.30	2958,85	2971,49	0,4273	3003,03	1,4931
08.00	3053,35	3176,56	4,0353	3145,35	3,0130
08.30	3152,65	3285,02	4,1986	3228,16	2,3952
09.00	3322,45	3332,88	0,3140	3334,40	0,3596
09.30	3412,65	3351,78	1,7836	3305,37	3,1436
10.00	3440,55	3405,14	1,0291	3407,98	0,9467
10.30	3420,17	3427,30	0,2086	3453,06	0,9616
11.00	3466,15	3453,12	0,3759	3417,68	1,3983
11.30	3408,94	3437,14	0,8273	3375,56	0,9792
12.00	3219,97	3300,47	2,5000	3248,35	0,8815
12.30	3128,42	3292,65	5,2496	3291,28	5,2057
13.00	3298,39	3400,24	3,0880	3345,30	1,4222
13.30	3318,50	3533,56	6,4806	3479,07	4,8388
14.00	3370,56	3554,10	5,4455	3492,43	3,6156
14.30	3492,46	3543,52	1,4621	3511,47	0,5444
15.00	3476,28	3528,05	1,4892	3457,74	0,5333
15.30	3436,38	3478,35	1,2212	3418,28	0,5266
16.00	3406,66	3478,84	2,1187	3399,36	0,2142
16.30	3414,00	3462,45	1,4192	3398,87	0,4431
17.00	3388,38	3519,45	3,8683	3423,56	1,0383
17.30	3535,58	3607,75	2,0412	3509,82	0,7285
18.00	3837,40	3881,39	1,1463	3733,94	2,6961
18.30	4014,06	3962,84	1,2759	3862,00	3,7882
19.00	3942,06	3982,78	1,0329	3833,19	2,7617
19.30	3910,50	4000,76	2,3082	3878,11	0,8283
20.00	3833,26	3990,09	4,0912	3846,34	0,3413
20.30	3788,78	3893,13	2,7541	3769,26	0,5152

Lanjutan Tabel 4.7

Selasa, 21 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
21.00	3680,48	3836,95	4,2514	3705,02	0,6668
21.30	3469,96	3696,01	6,5146	3553,38	2,4041
22.00	3408,66	3632,07	6,5542	3488,24	2,3345
22.30	3279,10	3496,61	6,6332	3425,61	4,4680
23.00	3186,80	3367,25	5,6623	3324,35	4,3162
23.30	3115,18	3287,19	5,5218	3218,87	3,3287
24.00	3106,90	3244,73	4,4362	3124,03	0,5514
Maximum Error		6,6332		7,1569	
Minimum Error		0,2086		0,2142	
Average Error		2,6120		2,5929	

Berdasarkan Tabel 4.7 untuk beban puncak pada peramalan OPELM yaitu sebesar 4000,76 MW pada pukul 19.30 dan pada peramalan ELM sebesar 3878,11 MW pada pukul 19.30. Sedangkan dari data aktual beban puncak terjadi pada pukul 18.30 sebesar 4014,06 MW. Hasil OPELM memiliki *error* maksimum 6,6332% pada beban pukul 22.30, *error* minimum 0,2086% pada pukul 10.30, dan *error* rata-rata 2,6120%. Sedangkan hasil dari ELM menunjukkan *error* maksimum 7,1569% pada pukul 04.30, *error* minimum 0,2142% pada pukul 16.00, dan *error* rata-rata 2,5929%. Secara keseluruhan, peramalan OPELM memberikan hasil yang sama baiknya dengan metode ELM dilihat dari errornya.

4.2.3 Peramalan Beban Listrik untuk Hari Rabu.

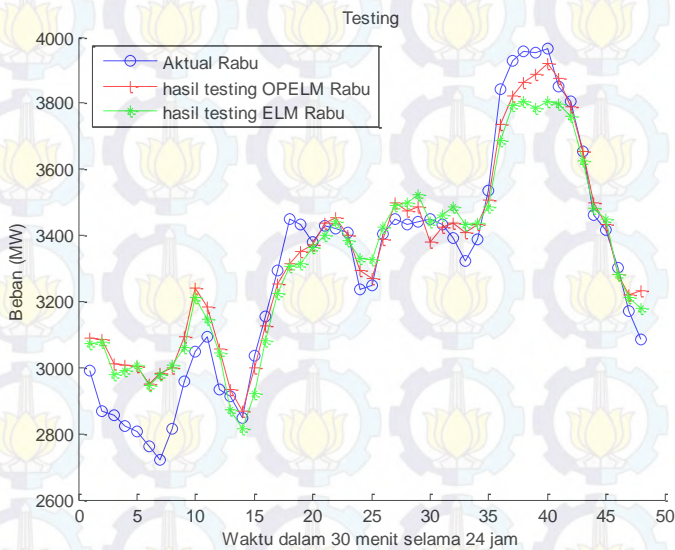
Berikut ini pada Tabel 4.8 adalah perbandingan nilai keakuratan hasil ramalan dari metode OPELM dan ELM untuk hari Rabu.

Tabel 4.8 Perbandingan Keakuratan Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Rabu

Metode	Fungsi Aktivasi	Jumlah <i>hidden neuron</i>	MAPE <i>testing</i> (%)
OPELM	<i>lsg</i>	8	2,4664
ELM	<i>linear</i>		2,8407

**lsg* = *linear, sigmoid, gaussian*

Berdasarkan Tabel 4.8 diketahui bahwa metode OPELM memiliki nilai MAPE *testing* sebesar 2,4664% dan ELM 2,8407%. Nilai MAPE OPELM lebih kecil dibandingkan dengan ELM. Hal ini menunjukkan metode OPELM memiliki keakuratan lebih baik daripada ELM. Hasil *testing* menggunakan metode OPELM dan ELM ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Plot Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Rabu

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa hasil peramalan dengan metode OPELM memiliki pola beban yang sama dengan pola beban data aktual tetapi memiliki *error* lebih kecil dibandingkan hasil peramalan dengan metode ELM.

Jika hasil pengujian peramalan direpresentasikan dalam jumlah beban (MW) per 30 menit dan ditunjukkan *error* per 30 menitnya maka dapat ditampilkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil *Testing* Peramalan Beban untuk Hari Rabu

Rabu, 22 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
00.30	2990,46	3090,17	3,3344	3071,48	2,7092
01.00	2866,82	3083,30	7,5511	3076,92	7,3286
01.30	2857,58	3013,02	5,4397	2980,55	4,3034
02.00	2821,98	3005,95	6,5190	2992,45	6,0409
02.30	2806,16	3003,62	7,0366	3005,68	7,1100
03.00	2761,78	2951,68	6,8760	2944,16	6,6038
03.30	2722,00	2982,32	9,5636	2976,92	9,3653
04.00	2815,00	2997,23	6,4735	3007,22	6,8284
04.30	2957,86	3092,00	4,5352	3059,34	3,4309
05.00	3049,52	3238,76	6,2056	3210,96	5,2941
05.30	3093,82	3182,45	2,8648	3148,43	1,7652
06.00	2935,36	3055,60	4,0963	3045,41	3,7490
06.30	2913,30	2935,17	0,7507	2873,12	1,3792
07.00	2848,80	2868,19	0,6808	2815,54	1,1675
07.30	3035,30	3000,25	1,1548	2922,85	3,7049
08.00	3153,10	3125,90	0,8627	3080,18	2,3125
08.30	3295,90	3253,82	1,2768	3223,79	2,1879
09.00	3447,70	3315,10	3,8461	3304,52	4,1529
09.30	3432,00	3352,56	2,3147	3315,89	3,3831
10.00	3379,90	3369,79	0,2991	3361,54	0,5433
10.30	3427,12	3438,54	0,3333	3399,23	0,8137
11.00	3421,48	3454,54	0,9661	3440,05	0,5428
11.30	3409,50	3400,52	0,2634	3384,83	0,7236
12.00	3236,34	3293,49	1,7658	3330,53	2,9105
12.30	3248,64	3270,05	0,6591	3326,27	2,3896
13.00	3405,18	3388,88	0,4787	3424,70	0,5734
13.30	3450,78	3497,23	1,3461	3490,58	1,1532
14.00	3433,60	3472,02	1,1190	3497,03	1,8474
14.30	3442,18	3485,32	1,2534	3522,85	2,3435
15.00	3449,60	3381,03	1,9879	3442,12	0,2168
15.30	3433,26	3425,71	0,2200	3461,93	0,8351
16.00	3394,08	3435,80	1,2291	3486,77	2,7308
16.30	3321,26	3407,04	2,5827	3433,68	3,3850
17.00	3386,68	3432,89	1,3643	3437,00	1,4860
17.30	3533,68	3507,33	0,7458	3487,49	1,3071
18.00	3840,38	3734,89	2,7467	3686,85	3,9979
18.30	3927,96	3821,88	2,7007	3791,36	3,4777
19.00	3958,56	3862,62	2,4237	3805,89	3,8567
19.30	3952,50	3886,06	1,6809	3785,28	4,2307
20.00	3965,62	3919,87	1,1536	3805,78	4,0307
20.30	3852,20	3875,95	0,6166	3796,18	1,4542

Lanjutan **Tabel 4.9**

Rabu, 22 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
21.00	3807,20	3788,30	0,4965	3761,61	1,1976
21.30	3655,90	3653,61	0,0626	3627,25	0,7836
22.00	3461,96	3498,84	1,0653	3483,05	0,6091
22.30	3414,96	3431,91	0,4965	3449,10	0,9999
23.00	3300,08	3280,85	0,5826	3280,21	0,6021
23.30	3170,16	3219,44	1,5544	3213,78	1,3758
24.00	3084,93	3233,37	4,8119	3181,12	3,1181
Maximum Error		9,5636		9,3653	
Minimum Error		0,0626		0,2168	
Average Error		2,4664		2,8407	

Berdasarkan Tabel 4.9 untuk beban puncak pada peramalan OPELM yaitu sebesar 3919,87 MW pada pukul 20.00 dan pada peramalan ELM sebesar 3805,89 MW pada pukul 19.00. Sedangkan dari data aktual beban puncak terjadi pada pukul 20.00 sebesar 3965,62 MW. Hasil OPELM memiliki *error* maksimum 9,5636% pada beban pukul 03.30, *error* minimum 0,0626% pada pukul 21.30, dan *error* rata-rata 2,4664%. Sedangkan hasil dari ELM menunjukkan *error* maksimum 9,3653% pada pukul 03.30, *error* minimum 0,2168% pada pukul 15.00, dan *error* rata-rata 2,8407%. Secara keseluruhan, peramalan OPELM memberikan hasil yang lebih baik dibanding dengan metode ELM dilihat dari *error*nya.

4.2.4 Peramalan Beban Listrik untuk Hari Kamis.

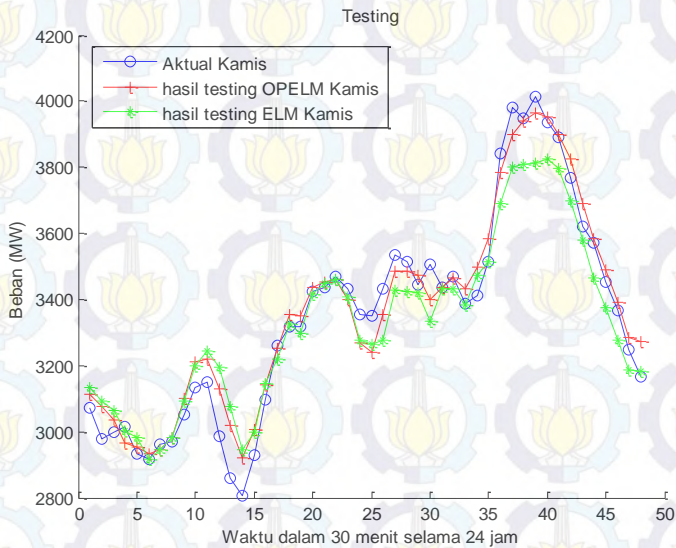
Berikut ini pada Tabel 4.10 adalah perbandingan nilai keakuratan hasil ramalan dari metode OPELM dan ELM untuk hari Kamis.

Tabel 4.10 Perbandingan Keakuratan Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Kamis

Metode	Fungsi Aktivasi	Jumlah <i>hidden neuron</i>	MAPE <i>testing</i> (%)
OPELM	<i>lsg</i>	8	1,5538
ELM	<i>linear</i>		2,1667

**lsg* = *linear, sigmoid, gaussian*

Berdasarkan Tabel 4.10 diketahui bahwa metode OPELM memiliki nilai MAPE *testing* sebesar 1,5538% dan ELM 2,1667%. Nilai MAPE OPELM lebih kecil dibandingkan dengan ELM. Hal ini menunjukkan metode OPELM memiliki keakuratan lebih baik daripada ELM. Hasil *testing* menggunakan metode OPELM dan ELM ditunjukkan pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Plot Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Kamis

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil peramalan dengan metode OPELM memiliki pola beban yang sama dengan pola beban data aktual tetapi memiliki *error* lebih kecil dibandingkan hasil peramalan dengan metode ELM.

Jika hasil pengujian peramalan direpresentasikan dalam jumlah beban (MW) per 30 menit dan ditunjukkan *error* per 30 menitnya maka dapat ditampilkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil *Testing* Peramalan Beban untuk Hari Kamis

Kamis, 23 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
00.30	3074,12	3113,49	1,2806	3134,68	1,9700
01.00	2977,58	3074,62	3,2591	3094,44	3,9248
01.30	3000,50	3035,33	1,1609	3065,63	2,1708
02.00	3014,92	2966,72	1,5987	3003,95	0,3637
02.30	2931,78	2953,25	0,7324	2983,22	1,7545
03.00	2916,40	2934,31	0,6141	2918,53	0,0730
03.30	2962,30	2944,89	0,5879	2944,18	0,6117
04.00	2968,20	2982,24	0,4729	2981,91	0,4620
04.30	3052,84	3099,57	1,5307	3092,41	1,2962
05.00	3135,10	3211,78	2,4458	3200,13	2,0744
05.30	3151,28	3221,46	2,2272	3243,95	2,9406
06.00	2985,86	3129,69	4,8171	3194,96	7,0031
06.30	2858,78	3019,09	5,6076	3077,95	7,6667
07.00	2807,26	2920,11	4,0198	2945,52	4,9251
07.30	2929,38	3007,17	2,6555	2997,22	2,3160
08.00	3095,68	3139,89	1,4281	3144,88	1,5892
08.30	3258,68	3253,36	0,1634	3220,54	1,1703
09.00	3319,50	3354,74	1,0616	3325,27	0,1739
09.30	3318,80	3352,58	1,0179	3297,10	0,6539
10.00	3426,08	3437,32	0,3280	3415,29	0,3150
10.30	3436,42	3453,01	0,4827	3447,07	0,3100
11.00	3470,26	3461,79	0,2442	3460,64	0,2771
11.30	3433,44	3398,65	1,0133	3408,29	0,7326
12.00	3353,24	3270,24	2,4753	3276,56	2,2866
12.30	3352,54	3238,13	3,4128	3263,90	2,6439
13.00	3430,80	3356,00	2,1802	3278,60	4,4364
13.30	3533,86	3485,53	1,3676	3428,21	2,9898
14.00	3515,38	3485,84	0,8403	3423,83	2,6042
14.30	3445,38	3472,35	0,7827	3419,66	0,7465
15.00	3506,08	3400,08	3,0232	3334,65	4,8895
15.30	3435,64	3436,37	0,0212	3431,25	0,1277
16.00	3469,82	3465,51	0,1242	3434,36	1,0221
16.30	3385,76	3431,78	1,3591	3383,00	0,0816
17.00	3413,10	3499,75	2,5386	3475,05	1,8150
17.30	3512,90	3585,37	2,0630	3515,32	0,0689
18.00	3840,68	3783,05	1,5005	3688,88	3,9525
18.30	3979,38	3901,14	1,9660	3801,99	4,4578
19.00	3947,10	3939,26	0,1987	3808,97	3,4995
19.30	4013,96	3963,88	1,2476	3814,52	4,9686
20.00	3937,50	3950,92	0,3408	3824,28	2,8753
20.30	3892,26	3898,27	0,1544	3797,07	2,4456

Lanjutan Tabel 4.11

Kamis, 23 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
21.00	3767,80	3824,06	1,4932	3699,11	1,8231
21.30	3621,26	3691,82	1,9484	3579,01	1,1666
22.00	3570,56	3585,24	0,4113	3463,44	3,0002
22.30	3454,40	3490,36	1,0410	3376,10	2,2666
23.00	3365,28	3391,88	0,7903	3278,25	2,5861
23.30	3248,44	3285,24	1,1327	3185,73	1,9305
24.00	3165,83	3274,16	3,4218	3183,01	0,5426
Maximum Error		5,6076		7,6667	
Minimum Error		0,0212		0,0689	
Average Error		1,5538		2,1667	

Berdasarkan Tabel 4.11 untuk beban puncak pada peramalan OPELM yaitu sebesar 3963,88 MW pada pukul 19.30 dan pada peramalan ELM sebesar 3824,28 MW pada pukul 20.00. Sedangkan dari data aktual beban puncak terjadi pada pukul 20.00 sebesar 4013,96 MW. Hasil OPELM memiliki *error* maksimum 5,6076% pada beban pukul 06.30, *error* minimum 0,0212% pada pukul 15.30, dan *error* rata-rata 1,5538%. Sedangkan hasil dari ELM menunjukkan *error* maksimum 7,6667% pada pukul 63.30, *error* minimum 0,0689% pada pukul 17.30, dan *error* rata-rata 2,1667%. Secara keseluruhan, peramalan OPELM memberikan hasil yang lebih baik dibanding dengan metode ELM dilihat dari *error*nya.

4.2.5 Peramalan Beban Listrik untuk Hari Jumat.

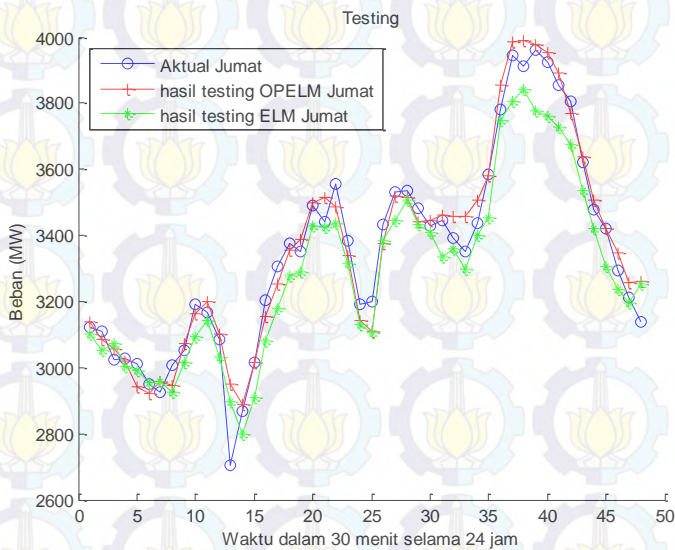
Berikut ini pada Tabel 4.12 adalah perbandingan nilai keakuratan hasil ramalan dari metode OPELM dan ELM untuk hari Jumat.

Tabel 4.12 Perbandingan Keakuratan Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Jumat

Metode	Fungsi Aktivasi	Jumlah <i>hidden neuron</i>	MAPE <i>testing</i> (%)
OPELM	<i>lsg</i>	8	1,3579
ELM	<i>linear</i>		2,2179

**lsg* = *linear, sigmoid, gaussian*

Berdasarkan Tabel 4.12 diketahui bahwa metode OPELM memiliki nilai MAPE *testing* sebesar 1,3579% dan ELM 2,2179%. Nilai MAPE OPELM lebih kecil dibandingkan dengan ELM. Hal ini menunjukkan metode OPELM memiliki keakuratan lebih baik daripada ELM. Hasil *testing* menggunakan metode OPELM dan ELM ditunjukkan pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Plot Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Jumat

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa hasil peramalan dengan metode OPELM memiliki pola beban yang sama dengan pola beban data aktual tetapi memiliki *error* lebih kecil dibandingkan hasil peramalan dengan metode ELM.

Jika hasil pengujian peramalan direpresentasikan dalam jumlah beban (MW) per 30 menit dan ditunjukkan *error* per 30 menitnya maka dapat ditampilkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil *Testing* Peramalan Beban untuk Hari Jumat

Jumat, 24 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
00.30	3120,84	3139,84	0,6089	3101,41	0,6226
01.00	3111,64	3086,22	0,8170	3052,85	1,8895
01.30	3022,26	3054,84	1,0779	3071,86	1,6411
02.00	3028,36	3018,97	0,3102	3004,24	0,7963
02.30	3010,56	2942,74	2,2528	2989,08	0,7135
03.00	2950,36	2920,83	1,0009	2955,52	0,1748
03.30	2924,94	2959,58	1,1845	2957,33	1,1074
04.00	3008,00	2945,51	2,0776	2924,57	2,7737
04.30	3051,38	3073,65	0,7300	3014,48	1,2094
05.00	3190,00	3161,91	0,8805	3094,30	3,0001
05.30	3168,64	3198,06	0,9284	3142,48	0,8256
06.00	3083,10	3101,07	0,5828	3033,31	1,6150
06.30	2706,38	2951,40	9,0534	2898,37	7,0941
07.00	2867,96	2888,51	0,7166	2799,29	2,3946
07.30	3013,98	3016,81	0,0939	2909,04	3,4818
08.00	3205,44	3154,23	1,5977	3081,16	3,8770
08.30	3307,98	3253,84	1,6367	3180,83	3,8437
09.00	3376,28	3356,19	0,5951	3276,18	2,9647
09.30	3350,86	3389,88	1,1643	3288,66	1,8561
10.00	3488,88	3498,69	0,2812	3428,88	1,7198
10.30	3442,98	3514,00	2,0628	3425,70	0,5018
11.00	3554,98	3486,16	1,9359	3437,49	3,3048
11.30	3383,28	3339,37	1,2978	3312,32	2,0974
12.00	3191,06	3142,77	1,5133	3132,00	1,8509
12.30	3197,78	3109,26	2,7683	3105,18	2,8957
13.00	3432,02	3374,97	1,6624	3382,38	1,4463
13.30	3532,28	3518,89	0,3790	3446,53	2,4277
14.00	3535,44	3514,49	0,5926	3507,21	0,7985
14.30	3482,44	3443,19	1,1271	3434,59	1,3740
15.00	3429,38	3445,57	0,4721	3406,58	0,6648
15.30	3443,44	3461,23	0,5166	3335,21	3,1430
16.00	3392,76	3458,38	1,9342	3357,78	1,0310
16.30	3351,46	3456,35	3,1296	3296,74	1,6328
17.00	3435,76	3505,50	2,0300	3398,33	1,0895
17.30	3582,98	3581,69	0,0360	3454,31	3,5911
18.00	3779,28	3855,69	2,0219	3748,31	0,8195
18.30	3943,28	3985,23	1,0639	3804,17	3,5279
19.00	3913,16	3990,56	1,9780	3840,88	1,8470
19.30	3961,28	3976,05	0,3729	3775,96	4,6784
20.00	3924,58	3953,71	0,7422	3760,32	4,1855
20.30	3856,16	3891,76	0,9232	3728,68	3,3059

Lanjutan **Tabel 4.13**

Jumat, 24 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
21.00	3805,34	3768,00	0,9812	3673,19	3,4729
21.30	3622,76	3636,79	0,3872	3535,04	2,4214
22.00	3477,28	3505,31	0,8062	3421,95	1,5913
22.30	3419,70	3418,94	0,0223	3305,50	3,3395
23.00	3292,46	3346,09	1,6289	3237,16	1,6796
23.30	3211,70	3255,51	1,3639	3195,98	0,4895
24.00	3139,30	3259,83	3,8395	3253,96	3,6524
Maximum Error		9,0534		7,0941	
Minimum Error		0,0223		0,1748	
Average Error		1,3579		2,2179	

Berdasarkan Tabel 4.13 untuk beban puncak pada peramalan OPELM yaitu sebesar 3990,56 MW pada pukul 19.00 dan pada peramalan ELM sebesar 3840,88 MW pada pukul 19.00. Sedangkan dari data aktual beban puncak terjadi pada pukul 19.30 sebesar 3961,28 MW. Hasil OPELM memiliki *error* maksimum 9,0534% pada beban pukul 06.30, *error* minimum 0,0223% pada pukul 22.30, dan *error* rata-rata 1,3579%. Sedangkan hasil dari ELM menunjukkan *error* maksimum 7,0941% pada pukul 06.30, *error* minimum 0,1748% pada pukul 03.00, dan *error* rata-rata 2,2179%. Secara keseluruhan, peramalan OPELM memberikan hasil yang lebih baik dibanding dengan metode ELM dilihat dari *error*nya.

4.2.6 Peramalan Beban Listrik untuk Hari Sabtu.

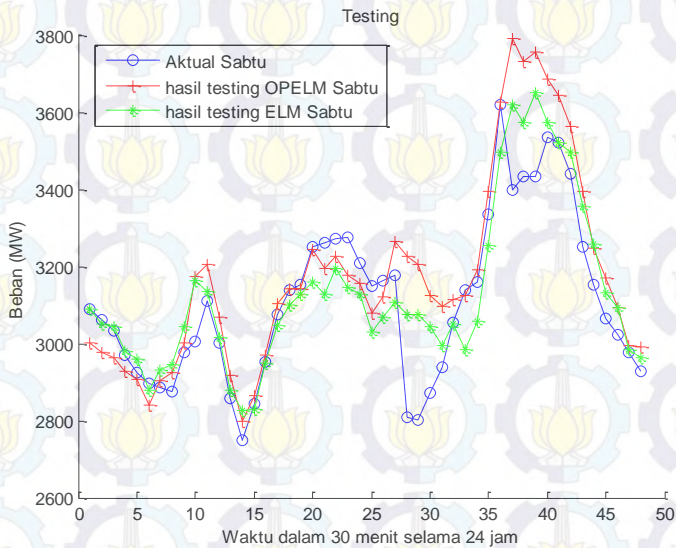
Berikut ini pada Tabel 4.14 adalah perbandingan nilai keakuratan hasil ramalan dari metode OPELM dan ELM untuk hari Sabtu.

Tabel 4.14 Perbandingan Keakuratan Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Sabtu

Metode	Fungsi Aktivasi	Jumlah <i>hidden neuron</i>	MAPE <i>testing</i> (%)
OPELM	<i>lsg</i>	8	3,1739
ELM	<i>linear</i>		2,5126

**lsg* = *linear, sigmoid, gaussian*

Berdasarkan Tabel 4.14 diketahui bahwa metode OPELM memiliki nilai MAPE *testing* sebesar 3,1739% dan ELM 2,5126%. Nilai MAPE OPELM lebih besar dibandingkan dengan ELM. Hal ini menunjukkan metode ELM memiliki keakuratan lebih baik daripada OPELM pada pengujian hari Sabtu. Hasil *testing* menggunakan metode OPELM dan ELM ditunjukkan pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Plot Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Sabtu

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa hasil peramalan dengan metode OPELM memiliki pola beban yang sama dengan pola beban data aktual tetapi memiliki *error* lebih besar dibandingkan hasil peramalan dengan metode ELM.

Jika hasil pengujian peramalan direpresentasikan dalam jumlah beban (MW) per 30 menit dan ditunjukkan *error* per 30 menitnya maka dapat ditampilkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil *Testing* Peramalan Beban untuk Hari Sabtu

Sabtu, 25 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
00.30	3090,94	3002,99	2,8453	3089,49	0,0469
01.00	3062,32	2977,48	2,7704	3051,67	0,3479
01.30	3031,74	2962,61	2,2803	3044,25	0,4125
02.00	2969,00	2929,64	1,3257	2980,86	0,3995
02.30	2923,14	2905,43	0,6060	2958,98	1,2262
03.00	2895,40	2838,90	1,9513	2877,20	0,6285
03.30	2887,08	2905,01	0,6209	2930,50	1,5040
04.00	2876,08	2923,45	1,6469	2945,65	2,4189
04.30	2977,26	3000,94	0,7953	3045,30	2,2853
05.00	3004,96	3173,97	5,6242	3162,11	5,2297
05.30	3112,08	3206,48	3,0332	3134,28	0,7134
06.00	3002,38	3069,13	2,2232	3017,27	0,4960
06.30	2859,50	2918,49	2,0628	2879,23	0,6901
07.00	2747,38	2799,94	1,9132	2826,64	2,8850
07.30	2844,22	2864,48	0,7122	2830,65	0,4771
08.00	2953,28	2971,44	0,6150	2948,70	0,1552
08.30	3076,18	3102,35	0,8506	3045,82	0,9868
09.00	3140,18	3142,75	0,0817	3099,85	1,2843
09.30	3151,70	3141,73	0,3164	3127,42	0,7703
10.00	3249,64	3243,17	0,1990	3158,05	2,8186
10.30	3260,78	3193,23	2,0715	3128,67	4,0514
11.00	3271,06	3224,96	1,4094	3196,42	2,2818
11.30	3276,06	3177,87	2,9971	3145,66	3,9804
12.00	3209,36	3156,22	1,6559	3127,53	2,5498
12.30	3149,64	3080,63	2,1911	3028,87	3,8345
13.00	3163,66	3122,54	1,2998	3069,45	2,9779
13.30	3176,48	3264,97	2,7858	3107,67	2,1663
14.00	2809,78	3225,31	14,7888	3075,72	9,4648
14.30	2802,48	3204,80	14,3557	3074,92	9,7215
15.00	2873,32	3124,32	8,7356	3043,28	5,9153
15.30	2940,34	3095,64	5,2818	2993,03	1,7921
16.00	3054,04	3113,01	1,9310	3049,65	0,1437
16.30	3139,26	3123,22	0,5109	2984,62	4,9261
17.00	3159,62	3189,87	0,9575	3059,21	3,1778
17.30	3333,86	3396,15	1,8683	3253,74	2,4032
18.00	3617,76	3627,12	0,2586	3495,04	3,3922
18.30	3398,68	3790,12	11,5174	3619,31	6,4915
19.00	3434,98	3729,90	8,5858	3575,13	4,0801
19.30	3433,38	3756,85	9,4212	3649,35	6,2902
20.00	3536,84	3686,18	4,2225	3575,24	1,0857
20.30	3521,26	3644,04	3,4869	3520,54	0,0203

Lanjutan Tabel 4.15

Sabtu, 25 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
21.00	3440,80	3564,43	3,5930	3497,12	1,6370
21.30	3249,26	3393,03	4,4247	3356,37	3,2963
22.00	3154,38	3248,31	2,9778	3259,33	3,3271
22.30	3063,96	3170,20	3,4675	3130,87	2,1838
23.00	3024,26	3091,42	2,2207	3091,60	2,2265
23.30	2977,36	2996,42	0,6401	2982,89	0,1858
24.00	2927,76	2991,58	2,1798	2963,70	1,2275
Maximum Error		14,7888		9,7215	
Minimum Error		0,0817		0,0203	
Average Error		3,1731		2,5126	

Berdasarkan Tabel 4.15 untuk beban puncak pada peramalan OPELM yaitu sebesar 3790,12 MW pada pukul 18.30 dan pada peramalan ELM sebesar 3649,35 MW pada pukul 19.30. Sedangkan dari data aktual beban puncak terjadi pada pukul 18.00 sebesar 3617,76 MW. Hasil OPELM memiliki *error* maksimum 14,7888% pada beban pukul 14.00, *error* minimum 0,0817% pada pukul 09.00, dan *error* rata-rata 3,1731%. Sedangkan hasil dari ELM menunjukkan *error* maksimum 9,7215% pada pukul 14.30, *error* minimum 0,0203% pada pukul 20.30, dan *error* rata-rata 2,5126%. Secara keseluruhan, peramalan ELM memberikan hasil yang lebih baik dibanding dengan metode OPELM dilihat dari *error*nya.

4.2.7 Peramalan Beban Listrik untuk Hari Minggu.

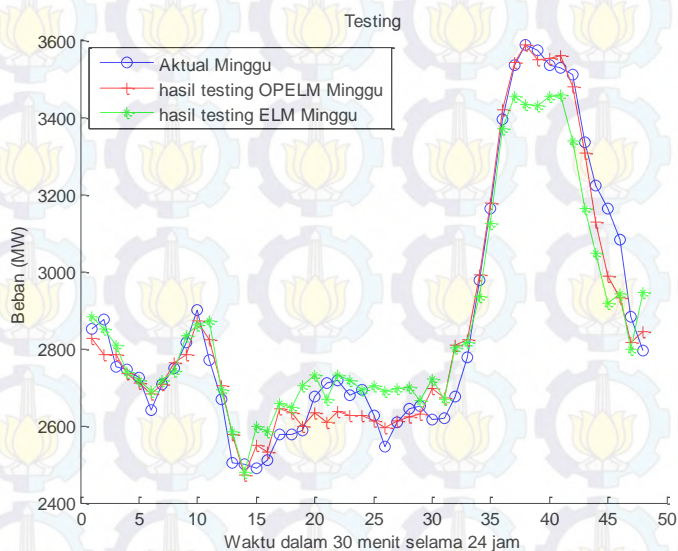
Berikut ini pada Tabel 4.16 adalah perbandingan nilai keakuratan hasil ramalan dari metode OPELM dan ELM untuk hari Minggu.

Tabel 4.16 Perbandingan Keakuratan Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Minggu

Metode	Fungsi Aktivasi	Jumlah <i>hidden neuron</i>	MAPE <i>testing</i> (%)
OPELM	<i>lsg</i>	8	1,6177
ELM	<i>linear</i>		2,5349

**lsg* = *linear, sigmoid, gaussian*

Berdasarkan Tabel 4.16 diketahui bahwa metode OPELM memiliki nilai MAPE *testing* sebesar 1,6177% dan ELM 2,5349%. Nilai MAPE OPELM lebih kecil dibandingkan dengan ELM. Hal ini menunjukkan metode OPELM memiliki keakuratan lebih baik daripada ELM pada pengujian hari Sabtu. Hasil *testing* menggunakan metode OPELM dan ELM ditunjukkan pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Plot Hasil *Testing* Menggunakan Metode OPELM dan ELM untuk Hari Minggu

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa hasil peramalan dengan metode OPELM memiliki pola beban yang sama dengan pola beban data aktual tetapi memiliki *error* lebih kecil dibandingkan hasil peramalan dengan metode ELM.

Jika hasil pengujian peramalan direpresentasikan dalam jumlah beban (MW) per 30 menit dan ditunjukkan *error* per 30 menitnya maka dapat ditampilkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil *Testing* Peramalan Beban untuk Hari Minggu

Minggu, 26 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
00.30	2850,20	2826,76	0,8223	2881,27	1,0899
01.00	2874,78	2784,46	3,1417	2852,40	0,7784
01.30	2752,48	2782,79	1,1011	2810,51	2,1084
02.00	2744,60	2734,11	0,3823	2739,76	0,1762
02.30	2724,72	2711,44	0,4875	2718,79	0,2175
03.00	2639,46	2683,25	1,6590	2688,97	1,8757
03.30	2705,30	2707,03	0,0641	2716,98	0,4317
04.00	2747,42	2762,03	0,5317	2742,54	0,1776
04.30	2817,30	2785,85	1,1163	2832,45	0,5377
05.00	2901,72	2870,94	1,0608	2859,66	1,4495
05.30	2768,44	2823,33	1,9828	2870,71	3,6940
06.00	2669,08	2703,60	1,2932	2691,96	0,8573
06.30	2505,02	2578,05	2,9155	2584,98	3,1921
07.00	2500,18	2472,98	1,0877	2479,07	0,8442
07.30	2489,30	2548,53	2,3794	2597,84	4,3604
08.00	2510,02	2531,20	0,8438	2584,28	2,9583
08.30	2576,90	2642,39	2,5416	2659,18	3,1930
09.00	2575,78	2632,22	2,1913	2648,57	2,8258
09.30	2589,36	2598,83	0,3658	2702,25	4,3597
10.00	2675,38	2634,93	1,5118	2729,95	2,0397
10.30	2711,10	2609,23	3,7576	2667,87	1,5946
11.00	2718,80	2638,00	2,9719	2730,48	0,4294
11.30	2679,98	2625,10	2,0479	2716,76	1,3724
12.00	2692,38	2626,72	2,4389	2694,19	0,0673
12.30	2626,54	2613,09	0,5122	2704,06	2,9515
13.00	2546,24	2593,97	1,8745	2687,92	5,5641
13.30	2610,42	2611,83	0,0539	2697,64	3,3412
14.00	2644,54	2621,34	0,8774	2699,56	2,0806
14.30	2651,66	2629,34	0,8417	2665,89	0,5367
15.00	2616,90	2695,89	3,0184	2721,22	3,9865
15.30	2620,24	2670,93	1,9346	2668,50	1,8420
16.00	2674,26	2808,37	5,0149	2803,06	4,8162
16.30	2777,94	2824,53	1,6772	2814,69	1,3228
17.00	2977,04	2992,28	0,5120	2936,83	1,3506
17.30	3162,91	3177,25	0,4535	3123,34	1,2510
18.00	3394,08	3420,88	0,7897	3369,95	0,7108
18.30	3536,20	3542,18	0,1692	3453,66	2,3342
19.00	3589,08	3587,00	0,0578	3433,97	4,3216
19.30	3572,58	3550,24	0,6254	3430,46	3,9782
20.00	3535,88	3552,12	0,4593	3456,13	2,2556
20.30	3529,28	3560,30	0,8789	3456,49	2,0625

Lanjutan **Tabel 4.17**

Minggu, 26 Februari 2012					
Jam	Data Aktual (MW)	OPELM (MW)	Error OPELM (%)	ELM (MW)	Error ELM (%)
21.00	3511,46	3478,61	0,9355	3338,04	4,9386
21.30	3334,86	3307,11	0,8322	3161,96	5,1845
22.00	3222,58	3128,72	2,9126	3048,82	5,3920
22.30	3163,50	2986,99	5,5797	2918,91	7,7317
23.00	3081,96	2932,81	4,8394	2940,44	4,5918
23.30	2883,94	2816,25	2,3473	2797,62	2,9933
24.00	2793,34	2842,45	1,7581	2947,10	5,5045
Maximum Error		5,5797		7,7317	
Minimum Error		0,0539		0,0673	
Average Error		1,6177		2,5349	

Berdasarkan Tabel 4.17 untuk beban puncak pada peramalan OPELM yaitu sebesar 3587,00 MW pada pukul 19.00 dan pada peramalan ELM sebesar 3456,49 MW pada pukul 20.30. Sedangkan dari data aktual beban puncak terjadi pada pukul 19.00 sebesar 3589,08 MW. Hasil OPELM memiliki *error* maksimum 5,5797% pada beban pukul 22.30, *error* minimum 0,0539% pada pukul 13.30, dan *error* rata-rata 1,6177%. Sedangkan hasil dari ELM menunjukkan *error* maksimum 7,7317% pada pukul 22.30, *error* minimum 0,0673% pada pukul 12.00, dan *error* rata-rata 2,5349%. Secara keseluruhan, peramalan OPELM memberikan hasil yang lebih baik dibanding dengan metode ELM dilihat dari *error*nya.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Peramalan beban listrik jangka pendek menggunakan metode *Optimally Pruned Extreme Learning* (OPELM) memperoleh hasil peramalan yang lebih akurat dibandingkan dengan metode *Extreme Learning Machine* (ELM).
2. Hasil terbaik OPELM ditunjukkan pada peramalan beban pada hari Jumat dengan MAPE *testing* sebesar 1,3579%, sementara MAPE *testing* ELM sebesar 2,2179%.
3. Pengidentifikasian karakteristik atau pola beban perlu dilakukan sebelum melakukan peramalan. Hal ini terkait dengan korelasi antara data yang menjadi masukan dengan data aktual. Semakin besar nilai korelasinya (kemiripan pola) maka *error* yang didapat semakin kecil. Terdapat juga faktor-faktor lain yang mempengaruhi pola konsumsi listrik, yaitu pengaruh cuaca dan tingkat perekonomian masyarakat setempat.

5.2 Saran

Dari kesimpulan yang telah diperoleh, maka dapat diberikan saran untuk ke depannya sebagai berikut.

1. Metode *Optimally Pruned Extreme Learning Machine* (OPELM) perlu dicoba untuk melakukan peramalan pada hari-hari libur atau peramalan untuk jangka menengah dan panjang.
2. Perlu dipertimbangkan untuk menambahkan variabel prediktor lain agar mendapatkan hasil peramalan yang lebih baik, yaitu data cuaca dan tingkat perekonomian masyarakat setempat.
3. Sebaiknya data yang digunakan sebagai masukan untuk proses *training* dan *testing* diolah terlebih dahulu dengan metode dan analisis statistika sehingga diperoleh informasi mengenai kondisi data dan dipilih data berdasarkan analisis tersebut.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Beban Listrik Hari Senin

Data Beban Listrik Hari Senin (MW)								
Jam	02/01/ 2012	09/01/ 2012	16/01/ 2012	23/01/ 2012	30/01/ 2012	06/02/ 2012	13/02/ 2012	20/02/ 2012
00.30	2444,3	2661,9	2731,5	2696,4	2701,6	2667,5	2576,5	2713,7
01.00	2382,0	2598,7	2720,0	2728,5	2570,9	2616,9	2577,9	2742,1
01.30	2392,1	2563,7	2697,7	2679,6	2596,1	2615,0	2526,9	2739,1
02.00	2297,3	2542,3	2690,1	2642,8	2568,9	2562,9	2467,9	2672,6
02.30	2326,2	2520,3	2649,3	2591,2	2519,8	2549,9	2499,9	2707,9
03.00	2249,2	2503,9	2635,3	2583,1	2579,9	2568,7	2450,1	2635,5
03.30	2287,3	2562,1	2686,2	2592,0	2600,9	2545,1	2459,0	2692,2
04.00	2321,8	2613,3	2706,4	2601,1	2588,9	2558,4	2486,3	2708,7
04.30	2403,8	2685,3	2823,2	2736,5	2673,5	2656,4	2633,1	2851,4
05.00	2399,1	2852,5	2796,7	2816,3	2807,4	2828,4	2737,9	2882,8
05.30	2400,0	2833,7	2916,6	2727,1	2959,1	2881,9	2774,0	2929,7
06.00	2361,2	2750,2	2932,9	2633,9	2889,5	2807,2	2761,7	2851,9
06.30	2347,0	2597,4	2877,3	2488,3	2850,7	2682,6	2706,6	2679,1
07.00	2389,4	2573,5	2688,3	2497,4	2801,8	2644,2	2602,8	2649,1
07.30	2571,2	2799,0	2854,5	2465,0	2771,9	2853,3	2765,5	2797,9
08.00	2881,4	2884,7	2947,0	2475,4	2845,2	2919,9	2895,7	2881,6
08.30	2941,2	3102,8	3181,9	2556,3	3045,1	3092,4	3040,7	3092,2
09.00	3011,7	3300,5	3280,0	2585,0	3241,2	3211,1	3104,0	3127,1
09.30	3116,1	3350,1	3223,1	2607,0	3217,8	3258,6	3246,9	3213,7
10.00	3102,1	3387,5	3394,8	2604,1	3250,5	3358,1	3318,0	3280,0
10.30	3114,3	3459,0	3404,6	2626,9	3216,2	3384,1	3340,9	3304,3
11.00	3148,8	3516,7	3483,1	2642,5	3259,0	3462,1	3437,4	3320,5
11.30	3111,0	3389,2	3267,4	2592,9	3240,8	3411,3	3401,9	3303,9
12.00	2924,9	3174,1	3304,4	2594,7	3115,0	3332,8	3188,5	3131,9
12.30	2937,3	3191,1	2896,8	2600,9	3092,8	3312,5	3123,9	3029,8
13.00	3046,8	3339,1	3089,4	2639,7	3251,8	3361,9	3413,8	3141,9
13.30	3152,7	3445,4	3644,7	2611,9	3355,0	3481,2	3505,8	3320,9
14.00	3140,2	3462,2	3635,1	2617,9	3298,9	3451,5	3525,6	3255,9
14.30	3133,9	3452,0	3631,5	2572,1	3370,7	3435,0	3452,9	3242,5
15.00	3128,9	3452,7	3367,3	2562,6	3336,2	3406,3	3461,9	3279,5
15.30	3081,5	3482,5	3560,6	2633,5	3304,9	3415,3	3408,1	3334,8
16.00	3078,8	3324,6	3435,3	2675,8	3228,9	3386,5	3420,1	3340,8
16.30	3124,8	3434,1	3554,1	2733,1	3209,2	3360,0	3315,9	3510,8
17.00	3151,0	3460,6	3601,2	2868,5	3279,8	3476,7	3336,2	3493,3
17.30	3260,8	3600,5	3652,9	2998,3	3415,3	3553,6	3389,9	3584,1
18.00	3559,5	3756,5	3783,1	3207,8	3652,1	3706,5	3692,9	3818,7
18.30	3643,9	3776,7	3859,4	3390,2	3796,2	3852,4	3861,8	3906,5
19.00	3644,4	3757,3	3891,9	3427,7	3804,9	3877,4	3910,5	3890,9
19.30	3688,5	3775,7	3971,6	3443,1	3763,2	3878,4	3892,9	3847,5

Lanjutan Lampiran 1

Data Beban Listrik Hari Senin (MW)								
Jam	02/01/ 2012	09/01/ 2012	16/01/ 2012	23/01/ 2012	30/01/ 2012	06/02/ 2012	13/02/ 2012	20/02/ 2012
20.00	3690,3	3735,0	3876,1	3468,9	3752,6	3877,2	3971,5	3942,0
20.30	3597,4	3541,8	3820,0	3434,6	3718,0	3834,4	3923,5	3803,0
21.00	3503,7	3560,1	3804,3	3385,9	3643,6	3672,4	3801,7	3686,1
21.30	3482,0	3461,7	3786,5	3187,8	3511,2	3561,2	3657,2	3365,4
22.00	3365,8	3232,8	3518,0	3063,6	3308,5	3373,1	3447,2	3464,8
22.30	3214,2	3152,3	3375,5	2964,9	3212,4	3333,8	3443,7	3336,4
23.00	3059,0	2972,2	3238,1	2866,0	3148,7	3173,2	3347,8	3121,8
23.30	3032,6	2957,5	3046,6	2765,0	3056,0	3093,1	3200,3	2825,0
24.00	2766,8	2902,7	3025,8	2677,3	3031,9	3053,7	3042,5	2838,1

Lampiran 2. Data Beban Listrik Hari Selasa

Data Beban Listrik Hari Selasa (MW)								
Jam	03/01/ 2012	10/01/ 2012	17/01/ 2012	24/01/ 2012	31/01/ 2012	07/02/ 2012	14/02/ 2012	21/02/ 2012
00.30	2955,4	2996,6	3089,4	2716,2	2974,6	3034,4	3091,9	2905,0
01.00	2937,2	2945,6	3006,6	2666,9	2917,0	2978,3	3056,4	2947,3
01.30	2820,9	2944,5	3008,0	2625,3	2906,6	2986,3	3048,1	2934,4
02.00	2883,9	2900,4	2960,7	2562,0	2844,6	2940,1	3038,2	2913,3
02.30	2815,7	2953,7	2961,9	2473,2	2823,7	2864,1	2995,3	2872,7
03.00	2822,1	2874,6	2855,4	2480,5	2841,6	2939,4	2954,2	2854,6
03.30	2834,8	2866,4	2885,8	2531,2	2809,1	2892,1	2921,6	2788,1
04.00	2894,2	2914,5	2982,8	2636,6	2864,6	2919,6	2968,2	2883,1
04.30	2917,5	2979,5	3069,5	2758,5	2937,6	2928,1	3125,7	2923,0
05.00	2975,5	3086,1	3177,1	2858,4	3061,7	3145,3	3236,5	3053,8
05.30	2880,7	3069,5	3191,9	2910,5	3018,4	3080,6	3286,4	3096,1
06.00	2776,5	3038,7	3114,2	2796,7	2967,1	3001,9	3063,4	3108,6
06.30	2833,2	2877,5	2924,7	2641,2	2850,9	2814,9	2908,5	2886,5
07.00	2839,9	2832,7	2866,0	2672,9	2819,0	2738,1	2825,3	2874,6
07.30	2964,8	2937,6	2950,1	2786,0	2973,6	2906,7	2983,3	2958,9
08.00	3114,7	3168,1	3083,7	3033,1	3029,3	3097,1	3140,2	3053,4
08.30	3253,8	3310,4	3228,6	3130,1	3123,6	3245,6	3231,5	3152,7
09.00	3300,7	3332,5	3303,8	3127,0	3197,8	3213,1	3348,6	3322,5
09.30	3312,9	3350,5	3380,1	3206,5	3221,3	3315,7	3316,6	3412,7
10.00	3347,3	3380,9	3403,8	3196,7	3282,0	3321,5	3429,7	3440,6
10.30	3401,2	3391,3	3488,7	3185,4	3311,9	3374,0	3479,4	3420,2
11.00	3424,3	3485,6	3423,4	3216,7	3310,1	3440,5	3440,4	3466,2
11.30	3386,5	3429,1	3419,3	3312,6	3278,6	3355,4	3394,0	3408,9
12.00	3274,4	3318,0	3257,0	3121,8	3156,9	3291,0	3253,7	3220,0
12.30	3268,6	3227,0	3250,6	3123,7	3216,1	3225,9	3301,0	3128,4
13.00	3353,3	3389,9	3208,9	3226,9	3291,7	3333,3	3360,6	3298,4

Lanjutan Lampiran 2

Data Beban Listrik Hari Selasa (MW)								
Jam	03/01/ 2012	10/01/ 2012	17/01/ 2012	24/01/ 2012	31/01/ 2012	07/02/ 2012	14/02/ 2012	21/02/ 2012
13.30	3459,0	3479,6	3384,7	3368,4	3462,3	3516,5	3508,1	3318,5
14.00	3451,6	3514,8	3344,9	3397,7	3469,1	3467,6	3522,8	3370,6
14.30	3421,1	3490,2	3314,4	3353,3	3565,7	3440,1	3543,8	3492,5
15.00	3422,3	3445,6	3307,5	3436,9	3510,1	3413,8	3484,6	3476,3
15.30	3404,2	3392,2	3235,2	3359,0	3491,1	3404,4	3441,1	3436,4
16.00	3430,7	3412,9	3252,5	3364,5	3422,6	3431,3	3420,2	3406,7
16.30	3471,4	3389,5	3276,7	3350,6	3410,6	3375,6	3419,7	3414,0
17.00	3521,4	3472,6	3359,5	3441,2	3444,1	3418,0	3446,9	3388,4
17.30	3582,6	3557,5	3499,9	3553,8	3679,1	3463,5	3542,0	3535,6
18.00	3772,5	3940,0	3761,3	3800,9	3805,7	3649,3	3789,1	3837,4
18.30	3820,8	3889,0	3890,1	3924,3	3921,4	3712,1	3930,2	4014,1
19.00	3827,8	3963,3	4019,7	3956,9	3887,0	3836,1	3898,5	3942,1
19.30	3866,2	3909,1	4007,3	4000,0	3894,3	3806,6	3948,0	3910,5
20.00	3823,9	3923,5	3948,2	3981,0	3841,3	3825,5	3913,0	3833,3
20.30	3802,0	3827,5	3877,1	3863,8	3827,8	3741,1	3828,0	3788,8
21.00	3728,1	3786,2	3783,8	3791,0	3665,0	3717,6	3757,2	3680,5
21.30	3531,0	3681,0	3628,7	3666,8	3521,1	3539,8	3590,0	3470,0
22.00	3520,6	3683,8	3453,6	3526,0	3362,7	3476,3	3518,2	3408,7
22.30	3398,0	3381,6	3335,3	3423,9	3289,3	3373,2	3449,1	3279,1
23.00	3239,9	3217,9	3222,4	3302,2	3227,2	3235,1	3337,5	3186,8
23.30	3193,9	3185,0	3130,1	3227,9	3096,7	3160,9	3221,2	3115,2
24.00	3092,8	3145,2	3107,1	3269,0	3116,0	3162,9	3116,7	3106,9

Lampiran 3. Data Beban Listrik Hari Rabu

Data Beban Listrik Hari Rabu (MW)								
Jam	04/01/ 2012	11/01/ 2012	18/01/ 2012	25/01/ 2012	01/02/ 2012	08/02/ 2012	15/02/ 2012	22/02/ 2012
00.30	3043,4	3002,0	3016,7	3059,1	2955,7	3020,2	3058,7	2990,5
01.00	2956,1	2960,3	2949,8	3054,8	2924,6	2996,3	3064,7	2866,8
01.30	2942,7	2915,4	2970,7	3021,0	2895,5	2965,3	2958,5	2857,6
02.00	2901,4	2887,1	2923,6	2998,7	2874,2	2936,4	2971,6	2822,0
02.30	2905,7	2870,1	2938,7	2985,6	2874,4	2931,1	2986,2	2806,2
03.00	2842,9	2828,9	2882,8	2956,6	2866,8	2855,4	2918,4	2761,8
03.30	2881,5	2875,2	2897,9	2963,9	2839,5	2870,6	2954,5	2722,0
04.00	2898,6	2878,2	2929,2	2960,6	2896,8	2892,6	2987,9	2815,0
04.30	2983,9	3049,7	3027,7	3047,4	2950,6	2981,2	3045,3	2957,9
05.00	3074,5	3147,4	3151,5	3198,3	3041,8	3132,7	3212,5	3049,5
05.30	2969,0	3095,0	3201,6	3163,3	3132,3	3127,2	3143,6	3093,8
06.00	2915,7	2977,3	2999,8	2962,1	3070,7	3072,1	3030,0	2935,4
06.30	2936,2	2872,6	2919,7	2943,9	2925,2	2947,8	2840,0	2913,3

Lanjutan Lampiran 3

Data Beban Listrik Hari Rabu (MW)								
Jam	04/01/ 2012	11/01/ 2012	18/01/ 2012	25/01/ 2012	01/02/ 2012	08/02/ 2012	15/02/ 2012	22/02/ 2012
07.00	2949,8	2854,6	2822,6	2821,9	2906,1	2874,8	2776,6	2848,8
07.30	3070,3	3032,3	2982,3	2935,0	3032,0	3021,7	2894,9	3035,3
08.00	3191,0	3106,0	3176,4	3055,0	3078,8	3115,7	3068,3	3153,1
08.30	3282,4	3183,9	3276,6	3166,6	3248,0	3267,7	3226,6	3295,9
09.00	3391,6	3240,6	3315,8	3179,3	3405,0	3345,8	3315,6	3447,7
09.30	3458,0	3274,4	3375,6	3244,0	3325,3	3423,4	3328,2	3432,0
10.00	3442,0	3234,5	3438,3	3261,6	3275,2	3450,7	3378,5	3379,9
10.30	3503,0	3336,0	3446,0	3327,3	3375,1	3532,7	3420,1	3427,1
11.00	3518,6	3369,9	3423,8	3265,8	3348,5	3559,3	3465,1	3421,5
11.30	3485,7	3320,0	3407,4	3240,8	3324,9	3464,6	3404,2	3409,5
12.00	3301,8	3211,0	3295,8	3090,9	3196,8	3263,2	3344,3	3236,3
12.30	3325,5	3203,9	3278,1	3023,5	3226,5	3239,9	3339,6	3248,6
13.00	3447,0	3373,6	3375,3	3095,6	3301,3	3389,0	3448,1	3405,2
13.30	3469,5	3484,7	3521,0	3205,5	3444,4	3659,1	3520,8	3450,8
14.00	3422,0	3451,2	3516,3	3135,7	3435,9	3641,7	3527,9	3433,6
14.30	3426,9	3411,0	3556,7	3187,4	3420,3	3625,6	3556,3	3442,2
15.00	3391,5	3243,2	3511,8	3152,1	3395,2	3457,1	3467,3	3449,6
15.30	3369,0	3399,4	3469,8	3146,6	3304,4	3404,5	3489,2	3433,3
16.00	3400,7	3405,4	3514,9	3153,5	3306,5	3374,5	3516,6	3394,1
16.30	3368,8	3452,0	3559,1	3097,4	3324,0	3400,4	3458,0	3321,3
17.00	3397,2	3519,0	3591,1	3139,7	3390,6	3382,9	3461,7	3386,7
17.30	3558,0	3617,4	3728,8	3232,9	3448,0	3461,6	3517,4	3533,7
18.00	3735,6	3734,8	3878,1	3573,6	3693,9	3653,0	3737,1	3840,4
18.30	3738,4	3720,8	3910,1	3677,2	3837,1	3792,2	3852,4	3928,0
19.00	3758,0	3740,7	3934,1	3780,7	3817,5	3804,9	3868,4	3958,6
19.30	3857,4	3916,5	3965,4	3714,5	3818,9	3894,0	3845,7	3952,5
20.00	3861,8	3946,3	3881,9	3744,3	3803,8	3924,9	3868,3	3965,6
20.30	3774,4	3806,3	3868,1	3735,1	3761,1	3887,3	3857,7	3852,2
21.00	3772,2	3605,3	3731,7	3652,1	3681,6	3813,9	3819,6	3807,2
21.30	3632,0	3524,2	3634,4	3504,4	3510,8	3648,8	3671,4	3655,9
22.00	3451,8	3345,0	3424,9	3373,5	3382,4	3468,6	3512,5	3462,0
22.30	3386,4	3284,9	3378,9	3251,0	3242,5	3404,0	3475,0	3415,0
23.00	3273,7	3166,9	3279,2	3130,8	3208,7	3267,6	3288,8	3300,1
23.30	3172,5	3151,9	3183,8	3042,0	3119,6	3189,6	3215,6	3170,2
24.00	3166,0	3181,8	3183,8	3114,8	2973,3	3195,1	3179,6	3084,9

Lampiran 4. Data Beban Listrik Hari Kamis

Data Beban Listrik Hari Kamis (MW)								
Jam	05/01/ 2012	12/01/ 2012	19/01/ 2012	26/01/ 2012	02/02/ 2012	09/02/ 2012	16/02/ 2012	23/02/ 2012
00.30	3111,6	3046,1	3038,0	2991,5	2951,7	3095,6	3128,4	3074,1
01.00	3097,8	3001,1	3035,7	2968,4	2920,7	3066,8	3084,0	2977,6
01.30	3064,3	2964,1	3026,8	2941,3	2884,3	2969,2	3052,3	3000,5
02.00	3045,2	2895,4	3007,9	2872,0	2876,5	2924,3	2984,3	3014,9
02.30	3000,6	2884,2	2984,6	2869,9	2836,7	2902,2	2961,4	2931,8
03.00	2970,1	2890,3	2941,6	2874,4	2817,5	2963,4	2890,1	2916,4
03.30	2969,5	2881,6	2947,6	2876,3	2824,3	2961,3	2918,4	2962,3
04.00	2971,9	2944,7	3046,9	2902,3	2863,7	2980,4	2960,0	2968,2
04.30	3078,6	3077,2	3177,2	3012,4	3008,6	3072,4	3081,8	3052,8
05.00	3163,8	3157,8	3275,5	3163,8	3126,0	3123,9	3200,6	3135,1
05.30	3079,5	3119,2	3349,2	3179,1	3117,8	3100,1	3248,9	3151,3
06.00	3011,6	2916,5	3194,6	3095,8	3001,2	3045,3	3194,9	2985,9
06.30	2921,6	2885,3	2969,9	2932,4	2845,0	2887,6	3065,9	2858,8
07.00	2910,9	2769,9	2892,1	2893,3	2738,8	2868,9	2919,9	2807,3
07.30	2963,9	2908,8	2963,1	2987,1	2815,7	2931,9	2976,9	2929,4
08.00	3186,3	2994,0	3145,0	3105,0	3072,7	3128,8	3139,6	3095,7
08.30	3294,9	3099,8	3315,7	3271,8	3139,8	3273,7	3223,1	3258,7
09.00	3360,8	3230,0	3388,6	3359,8	3234,8	3268,2	3338,5	3319,5
09.30	3396,0	3252,1	3331,6	3363,3	3247,6	3282,2	3307,5	3318,8
10.00	3417,6	3322,9	3397,0	3397,2	3306,5	3329,1	3437,8	3426,1
10.30	3464,4	3361,3	3438,8	3383,0	3345,7	3300,9	3472,8	3436,4
11.00	3421,1	3363,2	3443,0	3372,3	3308,3	3340,0	3487,8	3470,3
11.30	3385,2	3276,3	3442,7	3336,8	3255,5	3265,3	3430,0	3433,4
12.00	3285,3	3216,6	3306,8	3142,6	3211,8	3209,4	3284,8	3353,2
12.30	3231,6	3153,4	3314,4	3114,0	3136,1	3176,8	3270,9	3352,5
13.00	3349,2	3300,3	3401,2	3369,1	3314,8	3283,3	3287,1	3430,8
13.30	3412,4	3477,0	3551,7	3408,6	3392,9	3396,4	3452,0	3533,9
14.00	3389,1	3474,1	3487,4	3390,0	3452,4	3441,4	3447,2	3515,4
14.30	3379,4	3407,7	3575,4	3444,0	3479,6	3392,4	3442,6	3445,4
15.00	3365,8	3427,0	3541,4	3298,0	3419,5	3399,4	3348,9	3506,1
15.30	3341,8	3383,9	3545,1	3311,3	3395,9	3364,0	3455,4	3435,6
16.00	3377,1	3469,0	3536,0	3322,3	3499,1	3399,2	3458,8	3469,8
16.30	3417,4	3434,5	3540,6	3329,2	3561,3	3379,9	3402,2	3385,8
17.00	3482,4	3557,8	3564,5	3309,2	3537,7	3373,9	3503,6	3413,1
17.30	3575,3	3659,4	3626,6	3411,0	3616,6	3537,9	3548,0	3512,9
18.00	3694,5	3784,6	3872,6	3676,2	3737,0	3780,7	3739,4	3840,7
18.30	3758,6	3822,6	3912,4	3812,8	3791,3	3965,1	3864,1	3979,4
19.00	3744,1	3883,9	3934,9	3861,6	3802,8	4034,1	3871,8	3947,1
19.30	3737,9	3916,3	3956,2	3936,2	3813,9	3981,5	3877,9	4014,0
20.00	3718,8	3849,0	3871,1	3926,1	3743,7	3941,5	3888,7	3937,5
20.30	3683,8	3748,0	3847,9	3877,2	3718,8	3909,5	3858,7	3892,3

Lanjutan Lampiran 4

Data Beban Listrik Hari Kamis (MW)								
Jam	05/01/ 2012	12/01/ 2012	19/01/ 2012	26/01/ 2012	02/02/ 2012	09/02/ 2012	16/02/ 2012	23/02/ 2012
21.00	3567,6	3707,8	3696,4	3812,7	3610,6	3818,9	3750,7	3767,8
21.30	3485,5	3522,7	3588,1	3733,4	3460,3	3674,3	3618,3	3621,3
22.00	3366,2	3467,8	3508,4	3669,4	3326,8	3424,9	3490,8	3570,6
22.30	3304,6	3340,9	3381,1	3595,0	3255,4	3334,0	3394,6	3454,4
23.00	3222,7	3230,9	3322,5	3523,6	3108,9	3238,8	3286,7	3365,3
23.30	3130,3	3125,0	3211,6	3413,3	3037,6	3112,1	3184,7	3248,4
24.00	3069,4	3087,2	3267,7	3387,9	2889,0	3185,5	3181,7	3165,8

Lampiran 5. Data Beban Listrik Hari Jumat

Data Beban Listrik Hari Jumat (MW)								
Jam	06/01/ 2012	13/01/ 2012	20/01/ 2012	27/01/ 2012	03/01/ 2012	10/02/ 2012	17/02/ 2012	24/02/ 2012
00.30	3021,7	3024,5	3122,2	3234,7	2928,0	3021,5	3091,7	3120,8
01.00	2988,9	2976,5	3063,7	3179,8	2910,3	2951,2	3038,2	3111,6
01.30	2976,4	2820,5	3029,0	3152,1	2853,5	2975,2	3059,1	3022,3
02.00	2976,0	2823,6	2976,6	3144,2	2813,6	2920,8	2984,6	3028,4
02.30	2914,0	2704,2	3007,8	3020,3	2778,4	2874,8	2967,9	3010,6
03.00	2860,2	2741,0	2969,2	2955,9	2782,1	2876,1	2930,9	2950,4
03.30	2865,4	2874,7	2885,7	2965,2	2764,7	2848,7	2932,9	2924,9
04.00	2853,3	2875,3	2979,9	2985,2	2817,9	2861,7	2896,8	3008,0
04.30	2936,3	3058,2	3021,0	3086,9	2905,6	3002,4	2995,9	3051,4
05.00	3007,4	3074,9	3255,3	3263,2	3057,9	3114,1	3083,9	3190,0
05.30	2903,0	3078,2	3202,8	3282,1	3018,6	3145,0	3137,0	3168,6
06.00	2847,3	2964,0	3072,1	3263,3	2945,0	2957,7	3016,6	3083,1
06.30	2747,3	2822,6	3037,8	3101,5	2821,4	2868,7	2867,9	2706,4
07.00	2772,1	2803,4	2958,0	3063,3	2778,8	2817,1	2758,6	2868,0
07.30	2941,5	2958,0	3086,3	3172,9	2836,6	2957,8	2879,6	3014,0
08.00	3044,3	3072,0	3186,9	3243,9	3025,9	3092,1	3069,4	3205,4
08.30	3167,0	3224,7	3322,8	3246,5	3117,9	3294,9	3179,3	3308,0
09.00	3249,8	3334,6	3384,6	3326,6	3111,1	3394,6	3284,4	3376,3
09.30	3290,1	3338,5	3365,2	3406,9	3263,8	3439,9	3298,2	3350,9
10.00	3323,4	3427,4	3432,4	3476,2	3274,3	3477,4	3452,7	3488,9
10.30	3370,0	3445,2	3433,7	3512,9	3346,0	3503,5	3449,2	3443,0
11.00	3326,1	3417,1	3444,7	3410,2	3314,3	3514,9	3462,2	3555,0
11.30	3072,8	3193,4	3273,1	3256,8	3154,8	3503,9	3324,2	3383,3
12.00	2965,8	3089,0	3123,4	3042,2	2979,1	3159,5	3125,4	3191,1
12.30	2967,4	3071,3	3189,8	3011,8	2912,6	3108,1	3095,9	3197,8
13.00	3294,1	3170,6	3284,3	3348,5	3147,8	3329,0	3401,5	3432,0
13.30	3447,7	3358,5	3486,5	3571,5	3308,1	3503,8	3472,2	3532,3
14.00	3444,3	3301,8	3511,5	3523,5	2889,6	3412,1	3539,1	3535,4

Lanjutan Lampiran 5

Data Beban Listrik Hari Jumat (MW)								
Jam	06/01/ 2012	13/01/ 2012	20/01/ 2012	27/01/ 2012	03/01/ 2012	10/02/ 2012	17/02/ 2012	24/02/ 2012
14.30	3418,8	3218,6	3546,7	3452,4	3548,4	3519,5	3459,0	3482,4
15.00	3410,8	3305,6	3491,2	3455,2	3729,5	3441,3	3428,2	3429,4
15.30	3475,2	3421,0	3475,2	3511,8	3204,2	3439,8	3349,5	3443,4
16.00	3539,1	3398,2	3462,1	3514,2	3257,8	3349,9	3374,4	3392,8
16.30	3645,8	3507,2	3491,8	3505,2	3274,9	3390,6	3307,1	3351,5
17.00	3701,2	3578,4	3413,7	3406,2	3304,5	3439,6	3419,1	3435,8
17.30	3559,9	3687,3	3558,7	3495,1	3377,3	3501,6	3480,8	3583,0
18.00	3704,1	3892,2	3822,5	3762,2	3488,3	3735,6	3804,9	3779,3
18.30	3731,9	4011,5	3967,4	3999,6	3541,1	3894,7	3866,5	3943,3
19.00	3757,8	4051,0	4042,2	3975,7	3567,3	3784,0	3907,0	3913,2
19.30	3690,3	4008,7	3951,7	4001,2	3619,4	3928,7	3835,4	3961,3
20.00	3683,7	3991,2	3955,8	3995,5	3713,6	3849,6	3818,1	3924,6
20.30	3602,0	3929,3	3822,5	3859,1	3644,8	3822,5	3783,3	3856,2
21.00	3493,5	3611,9	3805,8	3792,1	3577,9	3797,5	3722,1	3805,3
21.30	3388,4	3550,7	3545,1	3606,9	3329,7	3639,5	3569,8	3622,8
22.00	3276,0	3369,4	3456,6	3502,9	3163,6	3534,5	3445,1	3477,3
22.30	3247,7	3311,5	3430,7	3503,7	3082,8	3353,8	3316,7	3419,7
23.00	3140,7	3160,4	3261,4	3469,0	3095,5	3324,8	3241,4	3292,5
23.30	3054,2	3125,8	3262,9	3272,0	3034,5	3233,8	3196,0	3211,7
24.00	3027,8	3125,8	3127,6	3168,5	3006,5	3199,0	3259,9	3139,3

Lampiran 6. Data Beban Listrik Hari Sabtu

Data Beban Listrik Hari Sabtu (MW)								
Jam	07/01/ 2012	14/01/ 2012	21/01/ 2012	28/01/ 2012	04/01/ 2012	11/02/ 2012	18/02/ 2012	25/02/ 2012
00.30	2872,6	2675,0	3084,6	3036,6	3053,1	3158,4	3078,6	3090,9
01.00	2826,5	2660,0	3002,7	3042,9	2900,8	3045,9	3036,9	3062,3
01.30	2821,2	2643,0	3004,2	3036,1	2826,1	2985,4	3028,7	3031,7
02.00	2805,4	2734,1	2952,0	2945,4	2692,8	2939,1	2958,8	2969,0
02.30	2767,1	2739,7	2932,9	2896,3	2741,6	2912,8	2934,7	2923,1
03.00	2764,2	2767,5	2873,9	2765,0	2734,3	2892,9	2844,5	2895,4
03.30	2759,0	2937,2	2861,0	2764,5	2738,6	2870,4	2903,3	2887,1
04.00	2802,2	2942,8	2964,5	2808,1	2764,1	2903,1	2920,0	2876,1
04.30	2909,3	3005,7	3079,1	2851,1	2906,4	2994,3	3029,9	2977,3
05.00	3008,6	3165,4	3182,0	3110,0	3088,2	3127,1	3158,6	3005,0
05.30	2875,6	3203,7	3187,5	3242,8	3093,3	3128,9	3128,0	3112,1
06.00	2774,8	3034,5	3098,1	3133,3	2957,1	2973,9	2999,0	3002,4
06.30	2702,5	2874,3	2855,9	2981,1	2828,1	2798,1	2846,8	2859,5
07.00	2672,9	2770,5	2821,5	2785,4	2730,2	2629,6	2788,8	2747,4
07.30	2901,6	2882,3	2860,5	2870,9	2865,3	2770,1	2793,2	2844,2

Lanjutan Lampiran 6

Data Beban Listrik Hari Sabtu (MW)								
Jam	07/01/ 2012	14/01/ 2012	21/01/ 2012	28/01/ 2012	04/01/ 2012	11/02/ 2012	18/02/ 2012	25/02/ 2012
08.00	3005,6	2939,4	2869,4	2961,9	2898,0	2881,0	2923,4	2953,3
08.30	3158,9	3034,2	2989,8	3139,4	2894,9	3059,1	3030,4	3076,2
09.00	3227,3	3061,4	2988,9	3166,0	3055,0	3073,0	3090,0	3140,2
09.30	3215,2	3087,9	3027,6	3068,4	3044,3	3143,0	3120,4	3151,7
10.00	3298,5	3179,3	3097,8	3278,5	3051,3	3242,7	3154,2	3249,6
10.30	3230,0	3235,1	3168,7	3126,3	3023,6	3196,2	3121,8	3260,8
11.00	3181,1	3207,4	3176,4	3120,9	3053,4	3269,0	3196,5	3271,1
11.30	3134,1	3188,4	3178,0	3056,5	2975,6	3254,2	3140,5	3276,1
12.00	3119,1	3128,7	3113,5	3081,4	2898,0	3160,8	3120,5	3209,4
12.30	3053,8	3033,3	3050,7	3073,2	2879,2	3098,7	3011,8	3149,6
13.00	3079,0	3088,5	3105,7	3091,9	2940,5	3164,1	3056,5	3163,7
13.30	3128,8	3193,8	3075,0	3439,4	2817,4	3165,2	3098,6	3176,5
14.00	3129,9	3165,0	3218,1	3406,5	2970,0	3172,0	3063,4	2809,8
14.30	3120,7	3106,1	3191,3	3398,1	2924,3	3117,4	3062,5	2802,5
15.00	3103,0	3053,2	3119,9	3228,8	2942,8	3018,5	3027,6	2873,3
15.30	3095,0	3095,3	3173,0	3162,4	2960,5	3074,4	2972,2	2940,3
16.00	3141,6	3077,9	3238,3	3162,9	2927,0	3046,9	3034,7	3054,0
16.30	3160,7	3241,8	3249,6	3161,0	3062,7	3076,3	2963,0	3139,3
17.00	2894,9	2934,4	3121,9	3149,3	2891,5	2893,5	3080,9	3024,3
17.30	2889,1	2830,6	3075,1	3068,9	2759,9	2897,9	2961,1	2977,4
18.00	2894,6	2718,2	2781,1	3059,5	2722,5	3064,6	2939,9	2927,8
18.30	3181,1	3207,4	3176,4	3120,9	3053,4	3269,0	3196,5	3271,1
19.00	3134,1	3188,4	3178,0	3056,5	2975,6	3254,2	3140,5	3276,1
19.30	3119,1	3128,7	3113,5	3081,4	2898,0	3160,8	3120,5	3209,4
20.00	3053,8	3033,3	3050,7	3073,2	2879,2	3098,7	3011,8	3149,6
20.30	3079,0	3088,5	3105,7	3091,9	2940,5	3164,1	3056,5	3163,7
21.00	3128,8	3193,8	3075,0	3439,4	2817,4	3165,2	3098,6	3176,5
21.30	3129,9	3165,0	3218,1	3406,5	2970,0	3172,0	3063,4	2809,8
22.00	3120,7	3106,1	3191,3	3398,1	2924,3	3117,4	3062,5	2802,5
22.30	3103,0	3053,2	3119,9	3228,8	2942,8	3018,5	3027,6	2873,3
23.00	3095,0	3095,3	3173,0	3162,4	2960,5	3074,4	2972,2	2940,3
23.30	3141,6	3077,9	3238,3	3162,9	2927,0	3046,9	3034,7	3054,0
24.00	3160,7	3241,8	3249,6	3161,0	3062,7	3076,3	2963,0	3139,3

Lampiran 7. Data Beban Listrik Hari Minggu

Data Beban Listrik Hari Minggu (MW)								
Jam	08/01/ 2012	15/01/ 2012	22/01/ 2012	29/01/ 2012	05/01/ 2012	12/02/ 2012	19/02/ 2012	26/02/ 2012
00.30	2779,1	2680,2	2894,9	2898,7	2659,8	2703,5	2849,0	2850,2
01.00	2689,3	2677,4	2864,8	2789,6	2625,6	2699,0	2817,2	2874,8
01.30	2717,4	2706,4	2848,2	2847,0	2618,3	2644,1	2771,0	2752,5
02.00	2651,0	2687,2	2845,8	2823,6	2621,2	2604,9	2693,0	2744,6
02.30	2712,7	2690,0	2782,3	2754,6	2570,3	2614,9	2669,9	2724,7
03.00	2641,5	2659,2	2789,3	2736,9	2557,1	2599,3	2637,0	2639,5
03.30	2632,1	2630,1	2732,3	2784,1	2499,9	2603,5	2667,9	2705,3
04.00	2668,2	2698,4	2848,1	2898,7	2517,9	2611,1	2696,1	2747,4
04.30	2733,6	2660,9	2916,6	2862,1	2599,8	2648,0	2795,2	2817,3
05.00	2817,9	2864,4	2964,9	2896,3	2641,1	2792,4	2825,2	2901,7
05.30	2801,4	2735,2	3006,8	2824,1	2638,0	2796,2	2837,4	2768,4
06.00	2686,0	2719,6	2861,5	2740,6	2544,4	2638,4	2640,3	2669,1
06.30	2595,8	2629,6	2663,2	2550,7	2448,9	2518,5	2522,4	2505,0
07.00	2522,2	2510,3	2553,2	2458,7	2324,6	2447,8	2405,6	2500,2
07.30	2498,9	2484,4	2523,0	2556,3	2354,9	2412,8	2536,6	2489,3
08.00	2573,2	2363,4	2523,4	2591,9	2325,7	2494,8	2521,6	2510,0
08.30	2737,4	2670,3	2503,4	2579,3	2405,1	2515,0	2604,2	2576,9
09.00	2775,4	2604,5	2534,1	2621,0	2383,5	2522,9	2592,5	2575,8
09.30	2803,0	2353,4	2555,0	2662,6	2383,1	2446,7	2651,7	2589,4
10.00	2812,4	2390,5	2579,5	2693,7	2426,4	2508,4	2682,2	2675,4
10.30	2838,4	2434,7	2601,4	2670,7	2442,4	2512,5	2613,8	2711,1
11.00	2827,3	2400,4	2613,8	2692,9	2454,6	2525,8	2682,8	2718,8
11.30	2787,4	2428,2	2611,5	2646,3	2488,5	2518,7	2667,7	2680,0
12.00	2788,0	2452,6	2598,5	2655,1	2504,1	2547,6	2642,8	2692,4
12.30	2733,6	2505,2	2599,7	2560,8	2502,4	2489,8	2653,7	2626,5
13.00	2795,0	2378,6	2620,7	2617,3	2515,9	2540,0	2635,9	2546,2
13.30	2878,7	2398,2	2644,7	2643,0	2501,8	2559,9	2646,6	2610,4
14.00	2912,5	2418,4	2594,8	2644,6	2542,6	2562,9	2648,7	2644,5
14.30	2914,3	2500,9	2557,8	2630,1	2505,1	2610,0	2611,6	2651,7
15.00	2892,9	2696,1	2593,7	2621,9	2514,9	2568,8	2672,6	2616,9
15.30	2973,4	2644,1	2595,2	2636,4	2561,4	2657,7	2614,5	2620,2
16.00	2753,2	2752,2	2652,4	2768,6	2512,5	2774,9	2762,8	2674,3
16.30	2817,1	2776,9	2702,5	2794,9	2608,9	2780,1	2775,6	2777,9
17.00	2951,8	3005,0	2828,3	2960,3	2763,4	2929,9	2910,3	2977,0
17.30	3012,2	3181,9	2981,1	3155,3	2875,5	3002,5	3115,9	3162,9
18.00	3368,1	3433,5	3290,2	3353,7	3156,1	3272,3	3387,8	3394,1
18.30	3484,6	3586,7	3462,3	3488,3	3454,0	3449,0	3480,1	3536,2
19.00	3503,9	3771,3	3472,7	3535,1	3533,5	3419,7	3458,4	3589,1
19.30	3468,4	3663,7	3548,4	3518,5	3568,5	3420,0	3454,5	3572,6
20.00	3435,5	3629,2	3570,5	3510,9	3546,5	3426,1	3482,8	3535,9
20.30	3463,5	3643,3	3463,1	3530,2	3527,7	3356,1	3483,2	3529,3

Lanjutan Lampiran 7

Data Beban Listrik Hari Minggu (MW)								
Jam	08/01/ 2012	15/01/ 2012	22/01/ 2012	29/01/ 2012	05/01/ 2012	12/02/ 2012	19/02/ 2012	26/02/ 2012
21.00	3338,7	3718,8	3425,0	3384,7	3409,4	3285,9	3352,6	3511,5
21.30	3217,3	3492,5	3285,1	3295,7	3306,3	3133,3	3158,5	3334,9
22.00	3066,6	3300,2	3200,5	3048,0	3087,3	2977,6	3033,7	3222,6
22.30	3006,8	3141,5	3082,8	2926,2	2988,7	2835,5	2890,5	3163,5
23.00	2998,1	2955,8	2923,2	2847,8	2898,0	2762,9	2914,3	3082,0
23.30	2787,5	2799,9	2766,0	2794,5	2813,3	2715,9	2756,8	2883,9
24.00	2635,0	2700,3	2838,6	2709,5	2708,3	2759,1	2921,6	2793,3

Lampiran 8. Listing Program Peramalan dengan OPELM

```
clear all;
clc;

%% data
Data_Beban=xlsread('data_new1'); %load data dari excell
%data untuk training
Data_Train=Data_Beban(1:336,1:8); %input
Data_Target=Data_Beban(1:336,9); %target
%data untuk testing
Data_Test=Data_Beban(338:673,1:8); %input
Data_Aktual=Data_Beban(338:673,9); %aktual

%% normalisasi data
%input "training"
input_1=Data_Train(:,1:2); %input jam & hari
input_2=Data_Train(:,3:8); %beban "training"
%target training
output_1=Data_Target; %target/output
%normalisasi input training
min_input = min(input_2);
maks_input = max(input_2);
minX_input = min(min_input);
maksX_input = max(maks_input);
normal_train_input=(2*(input_2-minX_input)/(maksX_input-
minX_input)-1);
%normalisasi output training
minX_output = min(output_1);
maksX_output = max(output_1);
normal_train_output=(2*(output_1-minX_output)/(maksX_output-
minX_output)-1);

%input "testing"
input_3=Data_Test(:,1:2); %input jam & hari
```

```

input_4=Data_Test(:,3:8); %beban "testing"
%target testing
output_2=Data_Aktual; %aktual/output
%normalisasi input testing
min_input_1 = min(input_4);
maks_input_1 = max(input_4);
minX_input1 = min(min_input_1);
maksX_input1 = max(maks_input_1);
normal_test_input=(2*(input_4-minX_input1)/(maksX_input1-
minX_input1)-1);
%normalisasi output testing
minX_output1 = min(output_2);
maksX_output1 = max(output_2);
normal_test_output=(2*(output_2-
minX_output1)/(maksX_output1-minX_output1)-1);

%release data baru untuk training
P=[normal_train_input input_1];
T=[normal_train_output];
%release data baru untuk testing
PTest=[normal_test_input input_3];
TTest=[normal_test_output];

%% inisialisasi awal
maxneur=25; %maksimum jumlah hidden neurons(optional)
kernel='lsg'; %kernel/fungsi aktivasi
KM.value=[]; % inisialisasi awal kernel matrix(hidden)
KM.function=[];
KM.param.p1=[];
KM.param.p2=[];

%% Proses Training OPELM
x=P; %input data training hasil normalisasi
y=T; %input target hasil normalisasi
[N,d]=size(x);
[No,n]=size(y);
%memulai training
start_time_train_OPELM=cputime; %waktu memulai training
%inisialisasi parameter secara random
%KM.value=output hidden layer
%KM.function=fungsi aktivasi
%KM.param.p1=input weight
%KM.param.p2=bias of hidden neuron
if max(strcmp(kernel,{'l','ls','lg','lsg'}))
    KM.value=[KM.value x];
    KM.function=[KM.function repmat({'l'},1,d)];
    KM.param.p1=[KM.param.p1 zeros(d,d)];
    KM.param.p2=[KM.param.p2 1:d];
end
if max(strcmp(kernel,{'s','ls'}))

```

```

W1=rand(d,maxneur)*10-5;
W10=rand(1,maxneur)*10-5;
KM.value=[KM.value tanh(x*W1+ones(N,1)*W10)];
KM.function=[KM.function repmat({'s'},1,maxneur)];
KM.param.p1=[KM.param.p1 W1];
KM.param.p2=[KM.param.p2 W10];
clear W1 W10
end
if max(strcmp(kernel,{'g';'lg'}))
    Y=pdist(x);
    a10=prctile(Y,20);
    a90=prctile(Y,60);
    MP=randperm(N);
    W1=x(MP(1:maxneur),:);
    W10=rand(1,maxneur)*(a90-a10)+a10;
    for j=1:maxneur
        KM.valueinit(:,j)=gaussian_func(x,W1(j,:),W10(1,j));
    end
    KM.value=[KM.value KM.valueinit];
    KM.function=[KM.function repmat({'g'},1,maxneur)];
    KM.param.p1=[KM.param.p1 W1'];
    KM.param.p2=[KM.param.p2 W10];
    clear W1 W10 Y a10 a90 MP
    KM.rmfield(KM,'valueinit');
end
if max(strcmp(kernel,{'sg';'lsg'}))
    % s part
    W1=rand(d,max(round(maxneur/2),1))*10-5;
    W10=rand(1,max(round(maxneur/2),1))*10-5;
    KM.value=[KM.value tanh(x*W1+ones(N,1)*W10)];
    KM.function=[KM.function
    repmat({'s'},1,max(round(maxneur/2),1))];
    KM.param.p1=[KM.param.p1 W1];
    KM.param.p2=[KM.param.p2 W10];
    % g part
    Y=pdist(x);
    a10=prctile(Y,20);
    a90=prctile(Y,60);
    MP=randperm(N);
    W1=x(MP(1:max(round(maxneur/2),1)),:);
    W10=rand(1,max(round(maxneur/2),1))*(a90-a10)+a10;
    for j=1:max(round(maxneur/2),1)
        KM.valueinit(:,j)=gaussian_func(x,W1(j,:),W10(1,j));
    end
    KM.value=[KM.value KM.valueinit];
    KM.function=[KM.function
    repmat({'g'},1,max(round(maxneur/2),1))];
    KM.param.p1=[KM.param.p1 W1'];
    KM.param.p2=[KM.param.p2 W10];
    clear W1 W10 Y a10 a90 MP

```



```

        KM=rmfield(KM,'valueinit');
    end
    [Np,nn]=size(KM);

    % MRSR (Multiresponse Spare Regression)=seleksi hidden
    neuron yang relevan
    %W=parameter MRSR
    %i1=selected regressor/variabel
    if nn>1
        [W,i1] = mrsr(y,KM,nn); %MRSR
        KM.value=KM.value(:,i1);
        KM.function=KM.function(:,i1);
        KM.param.p1=KM.param.p1(:,i1);
        KM.param.p2=KM.param.p2(:,i1);
    end

    % Validasi LOO(Leave-One-Out)=pemangkasan hidden neuron dgn
    PRESS statistic
    disp(['Computing model with ',int2str(d),' variables']);
    err=zeros(nn,n);
    mycond=zeros(1,nn);
    errloo=Inf(nn,n);
    maxsamples=min(N,5000);
    if max(strcmp(kernel,{ 'l'; 'ls'; 'lg'; 'lsg'}))
        nn_indexes=[1:d d+5:5:nn];
    else
        nn_indexes=[5:5:nn];
    end
    for i=nn_indexes
        W2=[KM.value(1:maxsamples,1:i)
            ones(maxsamples,1)]\y(1:maxsamples,:);
        yh=[KM.value(1:maxsamples,1:i) ones(maxsamples,1)]*W2;
        err(i,1:n)=mean((yh(1:maxsamples,:)-
            y(1:maxsamples,:)).^2);
        P=inv([KM.value(1:maxsamples,1:i)
            ones(maxsamples,1)]'*[KM.value(1:maxsamples,1:i)
            ones(maxsamples,1)]);
        mycond(i)=rcond(P);
        if mycond(1,i)>1e-017
            mydiag=[KM.value(1:maxsamples,1:i)
                ones(maxsamples,1)]*P*[KM.value(1:maxsamples,1:i)
                ones(maxsamples,1)]';
            errloo(i,1:n)=mean(((y(1:maxsamples,:)-
                [KM.value(1:maxsamples,1:i)
                ones(maxsamples,1)]*W2)./repmat((1-
                diag(mydiag)),1,n)).^2,1);
        else
            errloo(i,1:n)=inf;
            break
        end
    end
end

```

```

        if ((i>1) && ((min(errloo(i,:)>var(y)*1.5)) ||
        ((min(errloo(i,:)>min(errloo)*1.5))))))
            break
        end
    end
end
clear W2 count maxsamples yh
[LOO_min_value,min_index]=min(errloo);

% hitung output dengan jumlah neuron hasil validasi LOO
W2=zeros(max(min_index)+1,n);
yhloo=zeros(No,n);
for i=1:n
    %W2=output weight
    %yh=output
    W2(1:min_index(i)+1,i)=[KM.value(:,1:min_index(i))
    ones(N,1)]\y(:,i);
    yh(:,i)=[KM.value(:,1:min_index(i))
    ones(N,1)]*W2(1:min_index(i)+1,i);
    if (N<5000)
        P=inv([KM.value(:,1:min_index(i))
        ones(N,1)]'*[KM.value(:,1:min_index(i)) ones(N,1)]);
        mydiag=[KM.value(:,1:min_index(i))
        ones(N,1)]*P*[KM.value(:,1:min_index(i)) ones(N,1)]';
        yhloo(:,i)=y(:,i)-(y(:,i)-yh(:,i))./(1-
        diag(mydiag)));
    end
end
KM.value=KM.value(:,1:max(min_index));
KM.function=KM.function(:,1:max(min_index));
KM.param.p1=KM.param.p1(:,1:max(min_index));
KM.param.p2=KM.param.p2(:,1:max(min_index));

% output model
model.x=x; %input
model.y=y; %output
model.KM=KM; %output hidden layer
model.yh=yh; %output
model.yhloo=yhloo; %output dengan LOO
model.W2=W2; %output weight
model.errloo=LOO_min_value; %nilai min LOO
model.model_dim=min_index; %neuron hasil pemangkasan
message1=sprintf('Training : Uses %d neurons; LOO error is
%d.',model.model_dim,model.errloo);
disp(message1);
end_time_train_OPELM=cputime; %waktu akhir training
Training_Time_OPELM=end_time_train_OPELM-
start_time_train_OPELM; %waktu yang diperlukan untuk
training

%% Testing

```

```

x=PTest; %input testing
[N,d]=size(x);
model_dim=model.model_dim; %neuron hasil pemangkasan
KM=model.KM; %inisialisasi awal output hidden layer
start_time_test_OPELM=cputime;

% hitung output hidden layer
value=[];
for i=1:max(model_dim)
    if strcmp(KM.function(i),'l') %linier
        value=[value x(:,KM.param.p2(i))];
    end
    if strcmp(KM.function(i),'s') %sigmoid
        value=[value
        tanh(x*KM.param.p1(:,i)+ones(N,1)*KM.param.p2(:,i))];
    end
    if strcmp(KM.function(i),'g') %gaussian
        value=[value
        gaussian_func(x,KM.param.p1(:,i)',KM.param.p2(:,i))];
    end
end

% hitung output weight dan output
yh=zeros(N,n);
W2(1:model_dim,1)=model.W2(1:model_dim,1); %output weight
yh=[value(:,1:model_dim)]*W2(1:model_dim,1); %output
end time_test_OPELM=cputime;
Testing_Time_OPELM=end_time_test_OPELM-
start_time_test_OPELM; %waktu yang diperlukan untuk testing

%% Denormalisasi Hasil/output
%denormalisasi hasil training OPELM
denorm_opelm=model.yh;
Hasil_Training_OPELM= 0.5*(denorm_opelm+1)*(maksX_output-
minX_output)+minX_output;
%denormalisasi hasil testing OPELM
denorm_opelmtest=yh;
Hasil_Testing_OPELM=
0.5*(denorm_opelmtest+1)*(maksX_output1-
minX_output1)+minX_output1;
% Senin
Hasil_Testing_OPELM_Senin=Hasil_Testing_OPELM(1:48,end);
[L,O]=size(Hasil_Testing_OPELM_Senin);
Data_Aktual_Senin=Data_Aktual(1:48,end);
% Selasa
Hasil_Testing_OPELM_Selasa=Hasil_Testing_OPELM(49:96,end);
[L,O]=size(Hasil_Testing_OPELM_Selasa);
Data_Aktual_Selasa=Data_Aktual(49:96,end);
% Rabu
Hasil_Testing_OPELM_Rabu=Hasil_Testing_OPELM(97:144,end);

```



```

[L,O]=size(Hasil_Testing_OPELM_Rabu);
Data_Aktual_Rabu=Data_Aktual(97:144,end);
% Kamis
Hasil_Testing_OPELM_Kamis=Hasil_Testing_OPELM(145:192,end);
[L,O]=size(Hasil_Testing_OPELM_Kamis);
Data_Aktual_Kamis=Data_Aktual(145:192,end);
% Jumat
Hasil_Testing_OPELM_Jumat=Hasil_Testing_OPELM(193:240,end);
[L,O]=size(Hasil_Testing_OPELM_Jumat);
Data_Aktual_Jumat=Data_Aktual(193:240,end);
% Sabtu
Hasil_Testing_OPELM_Sabtu=Hasil_Testing_OPELM(241:288,end);
[L,O]=size(Hasil_Testing_OPELM_Sabtu);
Data_Aktual_Sabtu=Data_Aktual(241:288,end);
% Minggu
Hasil_Testing_OPELM_Minggu=Hasil_Testing_OPELM(289:336,end);
[L,O]=size(Hasil_Testing_OPELM_Minggu);
Data_Aktual_Minggu=Data_Aktual(289:336,end);

%% Fitness (MAPE)
for p=1:N
    for k=1:n
        mape_train_OPELM(p,k)=abs(Hasil_Training_OPELM(p,k)-
Data_Target(p,k))/Data_Target(p,k);
    end
end
MAPE_train_OPELM=mean(mape_train_OPELM)*100;
for p=1:N
    for k=1:n
        mape_test_OPELM(p,k)=abs(Hasil_Testing_OPELM(p,k)-
Data_Aktual(p,k))/Data_Aktual(p,k);
    end
end
MAPE_test_OPELM=mean(mape_test_OPELM)*100;
%fitness senin
for p=1:L
    for k=1:O
        mape_test_OPELM_Senin(p,k)=abs(Hasil_Testing_OPELM_Senin(p,k)
)-Data_Aktual_Senin(p,k))/Data_Aktual_Senin(p,k);
    end
end
MAPE_test_OPELM_Senin=mean(mape_test_OPELM_Senin)*100;
%fitness selasa
for p=1:L
    for k=1:O
        mape_test_OPELM_Selasa(p,k)=abs(Hasil_Testing_OPELM_Selasa(p
,k)-Data_Aktual_Selasa(p,k))/Data_Aktual_Selasa(p,k);
    end
end

```

```

end
MAPE_test_OPELM_Selasa=mean(mape_test_OPELM_Selasa)*100;
%fitness rabu
for p=1:L
    for k=1:O
        mape_test_OPELM_Rabu(p,k)=abs(Hasil_Testing_OPELM_Rabu(p,k)-
        Data_Aktual_Rabu(p,k))/Data_Aktual_Rabu(p,k);
    end
end
MAPE_test_OPELM_Rabu=mean(mape_test_OPELM_Rabu)*100;
%fitness kamis
for p=1:L
    for k=1:O
        mape_test_OPELM_Kamis(p,k)=abs(Hasil_Testing_OPELM_Kamis(p,k)-
        Data_Aktual_Kamis(p,k))/Data_Aktual_Kamis(p,k);
    end
end
MAPE_test_OPELM_Kamis=mean(mape_test_OPELM_Kamis)*100;
%fitness jumat
for p=1:L
    for k=1:O
        mape_test_OPELM_Jumat(p,k)=abs(Hasil_Testing_OPELM_Jumat(p,k)-
        Data_Aktual_Jumat(p,k))/Data_Aktual_Jumat(p,k);
    end
end
MAPE_test_OPELM_Jumat=mean(mape_test_OPELM_Jumat)*100;
%fitness sabtu
for p=1:L
    for k=1:O
        mape_test_OPELM_Sabtu(p,k)=abs(Hasil_Testing_OPELM_Sabtu(p,k)-
        Data_Aktual_Sabtu(p,k))/Data_Aktual_Sabtu(p,k);
    end
end
MAPE_test_OPELM_Sabtu=mean(mape_test_OPELM_Sabtu)*100;
%fitness minggu
for p=1:L
    for k=1:O
        mape_test_OPELM_Minggu(p,k)=abs(Hasil_Testing_OPELM_Minggu(p,
        k)-Data_Aktual_Minggu(p,k))/Data_Aktual_Minggu(p,k);
    end
end
MAPE_test_OPELM_Minggu=mean(mape_test_OPELM_Minggu)*100;

```

